

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

FERNANDO JOSÉ DE LIMA BOTELHO

**MÉTODOS GEODÉSICOS PARA RACIONALIZA-
ÇÃO CONSTRUTIVA NO POSICIONAMENTO
PRECISO DE
EDIFICAÇÕES PREDIAIS**



Recife, 2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

FERNANDO JOSÉ DE LIMA BOTELHO

**MÉTODOS GEODÉSICOS PARA RACIONALIZA-
ÇÃO CONSTRUTIVA NO POSICIONAMENTO
PRECISO DE
EDIFICAÇÕES PREDIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Geodésia Aplicada, e defendida no dia 12/12/2003.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Verônica Maria Costa Romão

Recife, 2003

B748m

Botelho, Fernando José de Lima

Métodos geodésicos para a racionalização construtiva
no posicionamento preciso de edificações prediais/ Fernando
José de Lima Botelho – Recife: O Autor , 2003.
ix , 102 folhas : il. ; fig. , tab. e quadros.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco
CTG. Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2003.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Engenharia da Construção Civil – Ciências Geodésicas . -
2. Edificações prediais – métodos geodésicos. I. Título.

526.6

CDD (21.ed.)

UFPE
BCTG/2004 1

MÉTODOS GEODÉSICOS PARA A RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA NO POSICIONAMENTO PRECISO DE EDIFICAÇÕES PREDIAIS

POR

FERNANDO JOSÉ DE LIMA BOTELHO

Dissertação defendida e aprovada em 12.12.03.

Banca Examinadora:



Prof.^a Dr.^a **Verônica Maria Costa Romão (Orientadora)**

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof. Dr. **Tarcísio Ferreira Silva**

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof.^a Dr.^a **Andréa de Seixas**

Departamento de Tecnologia Rural - Universidade Federal Rural de Pernambuco



Prof. Dr. **Antônio Oscar Cavalcanti da Fonte**

Departamento de Engenharia – Universidade Católica de Pernambuco

Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

A meus pais, tias-avó, minha esposa Izabel, e filhos Fernando Júnior, Juliana e Marcelo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo. A todos os professores do Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação pelos ensinamentos e experiências repassadas. A Prof^a Dr^a Verônica M.C. Romão pela dedicação e responsabilidade na orientação deste trabalho, sempre na busca de uma melhor qualidade. Aos colegas e alunos das turmas do mestrado e de graduação em Engenharia Cartográfica pela consideração e respeito.

A UFRPE e a UNICAP, instituições universitárias que pertencem, pela oportunidade e possibilidade para um melhor aperfeiçoamento profissional.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, em particular os Professores Tarcísio Ferreira da Silva e Andréa Carneiro pelas inúmeras sugestões para melhoria deste trabalho. Ao companheiro Prof. Jaime Mendonça, pelo incentivo e ajuda durante os trabalhos de campo e processamento.

Aos funcionários e prestadores de serviço do Departamento de Engenharia Cartográfica, em especial D^a Judite, pela atenção e dedicação.

Aos colegas de trabalho do Departamento de Tecnologia Rural da UFRPE pelo incentivo e ajuda. Em especial, aos colegas Prof. Mário Rolim e Andréa de Seixas, cujas valiosas contribuições possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao colega de mestrado Prof. Paulo Carvalho, companheiro incansável de todas as lutas em campo ou no escritório, cuja parceria e companheirismo foi determinante para realização desta caminhada.

Aos amigos Prof. Eduardo Oliveira e Técnico Waldemar Melo da UNICAP, pela inestimável e permanente ajuda durante a realização deste trabalho, possibilitando a sua realização no tempo e na qualidade pretendida. Ao amigo Paulo Afonso Galindo Cavalcante pela inestimável ajuda nos trabalhos de topografia.

Aos meus familiares, pela imensa compreensão durante esta nossa caminhada.

SUMÁRIO

RESUMO E PALAVRAS-CHAVE	i
ABSTRACT AND KEYWORDS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA E O CGE	5
2.1 – O Setor da Construção Civil de Edifícios no Brasil	5
2.2 – Conceitos de Qualidade e Racionalização Construtiva	6
2.2.1 – A Definição de Racionalização Construtiva	7
2.2.2 – O PBQP-H e a ISO9001/2000	9
2.2.3 – A Racionalização Construtiva no Contexto Regional	11
2.3 – A Definição de Controle Geométrico de Edificações	14
2.4 – Considerações sobre a Necessidade de uma Metodologia para RC	15
2.5 – Pesquisa de Campo	17
2.5.1–Tipos de Obras	17
2.5.2–Sistemas de Controle Geométrico Utilizados	18
3. MÉTODOS GEODÉSICOS NA RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA	21
3.1 – Conceitos Gerais de Geodésia	21
3.1.1 – Definição de Geodésia e os Modelos da Terra	21
3.1.2 – Definição de Topografia e a Relação com a Geodésia	23
3.1.3 – Sistemas de Referência e Sistemas de Projeção	24
3.1.4 – A Metrologia Dimensional e o Posicionamento Preciso na Obra	28

3.1.5 – Transformação de Coordenadas para o Georreferenciamento	29
3.2 – Campos de Pontos para o Posicionamento de Edificações	32
3.2.1 – Campo de Pontos de Referência	32
3.2.2 – Campo de Pontos-objeto ou de Posição	35
3.3 – Instrumentos e Métodos Geodésicos para a Racionalização Construtiva	35
3.3.1 – Instrumentos Geodésicos	35
3.3.2 – Os Métodos Geodésicos Usados no Posicionamento	37
3.3.3 – A Integração GPS e Topografia nos Trabalhos do Posicionamento	42
3.4 – Normas Técnicas e Especificações	44
3.4.1 – A Norma NBR13133: 1994: Execução do Levantamento Topográfico	44
3.4.2 – A Norma NBR14645: 2001: Elaboração do Como Construído “as <i>built</i> ”	45
3.4.3 – A Norma 14.166:1998: Rede de Referência Cadastral Municipal	46
3.4.4 – Especificações e Resolução PR-22 do IBGE	47
3.4.5 – Especificações Preliminares GPS do IBGE	48
3.5 – A Lei de Propagação dos Erros	49
3.6 – Análise da Propagação de Erros nos Pontos de Posição	51
3.7 – O Ajustamento das Observações no Posicionamento Preciso	52
3.7.1 – O Tratamento dos Dados nas Poligonais Segundo a NBR13133: 1994	53
3.7.2 – Ajustamento da Poligonal no Campo de Pontos de Referência Primário	54
4. A METODOLOGIA PROPOSTA PARA RC NO POSICIONAMENTO PRECISO DE EDIFICAÇÕES PREDIAIS	55
4.1 – Etapas para a Racionalização Construtiva a partir do CGE	55
4.2 – Estabelecimento do Sistema de Referência Primário e Georreferenciamento de Limites de Propriedade	57
4.2.1 – Estabelecimento do Sistema de Referência Primário	58
4.2.2 – Estabelecimento e Georreferenciamento dos Pontos-Objeto Limites do Terreno	62
4.3 – A Propagação de Erros no Campo de Pontos-Objeto	64

4.4 – A Transferência Vertical de Eixos no CGE	65
4.5 – Estabelecimento do Campo de Pontos Altimétrico	67
5. EXPERIMENTOS REALIZADOS	68
5.1 – Obra A (VÁRZEA)	68
5.1.1 Área de Trabalho	68
5.1.2 Planejamento do Experimento de Campo	69
5.1.3 Levantamento dos Pontos em Campo: Base de Apoio e Sistema Primário	71
5.1.4 Processamento dos Dados	73
5.1.5 Discussões de Resultados	77
5.2 – Obra B (PINA)	78
5.2.1 Área de Trabalho	78
5.2.2 Planejamento do Experimento de Campo	79
5.2.3 Levantamento da Base de Apoio , Sistema Referência e Campo-Objeto	80
5.2.4 Processamento dos Dados	81
5.2.5 Discussões de Resultados	84
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	88
6.1 – Conclusões	88
6.2 – Recomendações	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	
ANEXO 1 – DADOS SOBRE A ESTAÇÃO RECF-RBMC	
ANEXO 2 – EXPERIMENTO REALIZADO: VÁRZEA	
ANEXO 3 – EXPERIMENTO REALIZADO: OBRA PINA	

RESUMO E PALAVRAS-CHAVE

BOTELHO, Fernando José de Lima. **Métodos Geodésicos para a Racionalização Construtiva no Posicionamento Preciso de Edificações Prediais**. Recife, 2003.102p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver uma metodologia que permita utilizar as principais técnicas geodésicas e topográficas para empregá-las nas obras urbanas de pequeno e médio portes de construção de edifícios; contribuindo para a melhoria de qualidade em seus processos de racionalização construtiva, para o controle dimensional nas obras de engenharia, além do seu emprego para a atualização das plantas topográficas cadastrais.

Para apoiar a elaboração e atualização de plantas cadastrais municipais, bem como permitir o posicionamento preciso de edificações, é comum a definição de um campo, ou rede de pontos topográficos, materializado no terreno da obra, com coordenadas conhecidas em um sistema de referência pré-definido. Ao se estabelecer um campo de pontos de referência calculado e ajustado por completo, a rede implantada possibilita, além do posicionamento preciso da obra, seu georreferenciamento, permitindo, para novos projetos, uma atualização da planta cadastral, em atendimento às normas da ABNT relacionadas ao assunto.

Palavras-chave: Racionalização Construtiva; Métodos Geodésicos; Controle Dimensional da Obra; e Plantas Topográficas Cadastrais.

ABSTRACT AND KEYWORDS

The main objective of this work is to develop a methodology that allows the use of geodetic and topographical techniques for using in urban works of small and medium building constructions. The use of these techniques contributes to the improvement in the processes of constructive rationalization, for dimensional controlling of engineering work, and for updating of the cadastral topographical maps.

In order to implement and to update cadastral maps is usual to establish a topographical network. This network also is used for building precise positioning

The established topographical network will be used also to georeference the surveyed area thus allowing to update the ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) standards.

Key-words: Constructive rationalization; Geodesic methods; Dimensional Control of the Work; Cadastral Topographical plants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 :	Distribuição Espacial dos Municípios da RMR	12
Figura 2 :	Tipos de Obras	17
Figura 3 :	Tipos de locação planimétrica empregados	19
Figura 4 :	Etapas de nivelamento da laje	19
Figura 5 :	Métodos de nivelamento de lajes	20
Figura 6 :	Elipsóide Geocêntrico.	24
Figura 7 :	Elipsóide Local. Fonte: Adaptada de Seeber 1993	25
Figura 8 :	Cilindro Secante UTM. Fonte: Silveira 1990	27
Figura 9 :	Projeção UTM. Fonte: Silveira 1990	27
Figura 10:	Sistemas de Coordenadas.Fonte: Kahmen et Faig 1988	30
Figura 11:	Método de Posicionamento Polar	37
Figura 12 :	Elementos do Método Ortogonal	39
Figura 13 :	Sistema de Coordenadas. Fonte:Adaptada de Parma 2002	52
Figura 14 :	Sistema Primário e Croquis da Área de Estudo (marcos)	57
Figura 15 :	Transferência vertical de eixos.Fonte: Barros 2001	66
Figura 16 :	Localização da Área de Estudo. Fonte:Projeto UNIBASE FIDEM	69
Figura 17 :	Campo de Pontos de Referência Primário - Obra Várzea	70
Figura 18 :	PDOP dos Satélites durante o Intervalo de Rastreo	70
	Fonte: Programa GPSurvey	
Figura 19 :	Número de Satélites durante o Intervalo de Rastreo	71
	Fonte: Programa GPSurvey	
Figura 20 :	Ponto RECF-RBMC	72
Figura 21 :	Linhas de Base Observadas. Fonte: Programa GPSurvey	73
Figura 22 :	Localização da Área de Estudo. Fonte:Projeto UNIBASE FIDEM	79
Figura 23 :	Campo de Pontos de Referência Primário- Obra Pina	80
Figura 24:	Nível eletrônico no Campo Primário	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Valores do erro planimétrico devido à curvatura da Terra	23
Adaptada de Loch 1995	
Tabela 2 : Desvios-padrão adotados	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 : Modelo matemático de Helmert. Fonte: Kahmen et Faig 1988	31
Quadro 2 : Normas de exatidão no posicionamento relativo	49
Fonte: Streiff 1999	
Quadro 3 : Coordenadas Ajustadas (WGS 84) .Fonte: Programa GPSurvey	74
Quadro 4 : Coordenadas planas UTM (SAD69). Fonte: Programa GPSurvey	74
Quadro 5 : Desvios das Coordenadas Ajustadas	76
Quadro 6 : Coordenadas ajustadas no programa MMQ-UFV (Várzea)	77
Quadro 7 : Nivelamento geométrico	83
Quadro 8 : Coordenadas ajustadas e irradiadas da base de apoio GPS	84
Quadro 9 : Coordenadas ajustadas no programa MMQ-UFV	85
Quadro10: Comparação de distâncias no perímetro do terreno	86
Quadro11: Discrepâncias entre coordenadas do campo e da planta topográ- fica cadastral	87

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A/S	Anti-Spooting – Antitrande
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ADEMI	Associação dos Incorporadores de Pernambuco
ASTM	American Society for Testing and Materials
C/A	Coarse Acquisition
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CGE	Controle Geométrico de Edificações
CONDEPE	Instituto de Desenvolvimento de Pernambuco
CREA	Conselho Regional de Arquitetura e Agronomia
DOP	Dilution of Precision
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FIDEM	Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GRS80	Geodetic Reference System 1980
IAG	Associação Internacional de Geodésia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Estado São Paulo
ISO	International Organization for Standardization
L1	Portadora L1 dos sinais de satélite
L2	Portadora L2 dos sinais de satélite
NBR	Norma Brasileira Registrada
NMM	Nível Médio dos Mares
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PIB	Produto Interno Bruto
PROCON	Serviço de Proteção ao Consumidor

QUALIHAB	Programa da Qualidade na Construção Civil
RGR	Rede Geodésica de Referência
RMR	Região Metropolitana do Recife
SAD69	South American Datum of 1969
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UNICAP	Universidade Católica de Pernambuco
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System of 1984

1. INTRODUÇÃO

Na engenharia civil, várias obras são realizadas, permanentemente, com o controle dimensional, como as grandes barragens, estradas, ferrovias, ou obras que, por algum motivo venham utilizá-lo por todo o período de suas etapas construtivas. O ramo da ciência requerido para este controle dimensional é, em sentido estrito, a Topografia, ou a Geodésia no sentido abrangente. Ou seja, as técnicas geodésicas e topográficas de medição vêm sendo aplicadas em diversos campos da engenharia. Os profissionais atuantes na arquitetura e engenharia de edificações necessitam, assim como os engenheiros cartógrafos, receber as competências e conteúdos de mensuração geodésica, para entender que a sua aplicação contribui enormemente, para melhora no controle dimensional de edificações, adotando-o como estratégia viável, visando à racionalização construtiva. Os procedimentos para a racionalização construtiva constituem excelente caminho, em busca da qualidade do produto, em edificações prediais. Nas décadas de 1970/80 permitia-se no Brasil, ao engenheiro civil, uma maior tolerância nos erros na geometria da edificação, ou seja, “tirar as diferenças na massa”, i.e, era quase inexistente o controle dimensional das edificações.

A necessidade do controle dimensional extrapola as etapas de execução da estrutura do edifício, com suas diretrizes incorporadas desde o projeto, podendo estar presente desde o início até o final da obra, devendo, portanto, iniciar-se no levantamento topográfico do terreno, com seu posicionamento geodésico e amarração a redes de referência oficiais, continuando durante a fase de elaboração e compatibilização de projetos (arquitetônico, estrutural etc), e nas fases de locação do edifício e de suas partes ou etapas. Ao término das obras, deve ser elaborado o projeto “*as built*” ou “projeto como construído”. O mesmo deve ainda contribuir para a atualização das plantas topográficas cadastrais, as quais devem ser georreferenciadas à Rede de Referência Cadastral Municipal, em atendimento à norma NBR14. 166 (ABNT 1998), pelas respectivas prefeituras.

A partir da década passada (1990), os setores produtivos da construção civil têm se envolvido na qualidade de processos e produtos. Nesta direção da qualidade, este segmento da construção civil busca a certificação pelas normas da série

ISO9000. Outra alternativa que tem sido utilizada nas empresas consiste da implantação de programas de racionalização construtiva que aplica a tática de racionalização parcial, a qual é realizada “por etapas” no processo construtivo. O controle geométrico de edificações (CGE) constitui uma dessas táticas, e os recentes trabalhos técnicos e científicos publicados comprovam este fato.

Por outro lado, esta implantação de programas de gestão de qualidade total, com a posterior certificação de controle fundamentadas nas normas ISO 9001/2000, exige novas metodologias de trabalho que permitam a garantia da qualidade tecnológica. O emprego das modernas técnicas geodésicas e topográficas contribuem para realização do CGE nas diversas fases do processo produtivo.

No lançamento do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade – PBQP, em 1991, houve um movimento para a introdução do conceito da Qualidade na Construção Civil, em especial na construção de edifícios e nas empresas de pequeno e médio porte. Mais recentemente, o PBQP, por meio da Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, ligada à Presidência da República, desenvolveu o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP – H), criando o Sistema de Qualificação de Empresas de Serviços e Obras – Construtoras (SIQ-Construtoras), com abrangência nacional.

Outra exigência que deve ser considerada na construção civil é o atendimento as normas técnicas brasileiras NBR 13133 (ABNT-1994), NBR 14645 (ABNT-2001) e a NBR14166 (ABNT-1998) com a necessidade de aprofundamento de estudos e de pesquisas relativo a este tema. Com isto verifica-se, que a Metrologia Dimensional e mais especificamente a Topografia Industrial, ramo da Topografia que utiliza entre outras as técnicas da topografia tradicional aplicada ao desenvolvimento de obras de engenharia civil, assume de fato a sua importância no Brasil (SILVA 2000).

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver uma metodologia que permita o posicionamento preciso em Edificações Prediais através de métodos geodésicos e topográficos, como um procedimento viável para a racionalização construtiva na busca da qualidade no sentido geométrico e/ou tecnológico.

Este objetivo passa pelo conhecimento do contexto atual dos trabalhos topográficos usados na construção de edifícios, o conhecimento da realidade na área de abrangência do estudo (Região Metropolitana do Recife) e a proposição de métodos

geodésicos para a racionalização construtiva no edifício e seu georreferenciamento, com amarração às redes de referência cadastrais.

Para o atendimento a estes fins o trabalho foi desenvolvido em quatro fases, consistindo a primeira fase de um levantamento bibliográfico dos diversos conceitos e métodos relativos ao tema, tais como conceitos ligados à qualidade, à racionalização construtiva, à inovação tecnológica na topografia e geodésia aplicadas a esta racionalização.

A segunda fase foi executada, através de uma pesquisa de campo, em alguns canteiros de obras da Região Metropolitana do Recife, com a utilização de um questionário padrão verificando a situação atual do controle geométrico empregado nessas obras; as obras analisadas consistiram em edifícios residenciais ou comerciais, apresentando estrutura em concreto armado moldada “in loco” com vedação vertical em blocos de concreto ou cerâmico. Precedendo a aplicação do questionário, foi feito um levantamento junto ao CREA-PE e ao SINDUSCON-PE visando à definição do universo a ser pesquisado. Esta fase foi concluída com a tabulação dos dados coletados, consolidados em um diagnóstico mostrado no capítulo 2.

Na terceira fase, baseados nos dados levantados na pesquisa de campo, foram levantados dados referentes aos diversos sistemas de referência de medição utilizados, e os resultados obtidos expressos em métodos e instrumentos geodésicos, consoante as normas relacionadas ao tema.

A última fase, à luz dos resultados obtidos, foi feita uma proposta de metodologia para posicionamento de edificação, por meio de métodos geodésicos e topográficos, empregados no estabelecimento de um sistema de referência primário de medição, o qual deve ser georreferenciado à Rede de Referência Cadastral Municipal, em atendimento à norma NBR14166 (ABNT-1998), permitindo com isso a atualização das plantas cadastrais e similares pelas respectivas prefeituras e ainda relativo ao Direito Registral aplicado ao Registro Imobiliário.

O presente trabalho se estrutura em seis capítulos. No primeiro, apresenta-se uma introdução, onde são feitas as considerações iniciais, justificativas, objetivos, metodologia adotada e estruturação do trabalho.

No segundo capítulo, descreve-se os conceitos de qualidade e racionalização construtiva relacionadas ao controle geométrico de edificações (CGE). São apresentados e discutidos, ainda, os componentes do processo de controle geométrico, as fases da edificação relacionadas ao uso do CGE, o PBQP - H, citando as características da metrologia dimensional em obras e da qualidade na construção de edifícios. Apresentados também, resultados do levantamento do estado da arte na Região Metropolitana do Recife (RMR), para os trabalhos de controle dimensional para a racionalização construtiva.

O terceiro capítulo trata da apresentação dos métodos geodésicos e topográficos para o levantamento e posicionamento da obra, trabalhando uma abordagem dos campos de pontos de referência e objeto.

No quarto e quinto capítulos são apresentados respectivamente o método para o posicionamento e os resultados em dois experimentos na RMR onde são vinculados levantamentos por estação total e por GPS (Global Positioning System) para levantamentos no campo de pontos de referência primário e/ou secundário.

No sexto capítulo, são feitas as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros. E, finalmente, apresentam-se as referências bibliográficas e os anexos.

Espera-se, com este trabalho, contribuir para a melhoria no controle geométrico de edificações, através da aplicação de métodos geodésicos e topográficos, com vista à racionalização construtiva.

2. A RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA E O CONTROLE GEOMÉTRICO DE EDIFICAÇÕES

Neste capítulo são analisados com base em uma revisão bibliográfica, conceitos de qualidade e racionalização construtiva, as ações e programas governamentais para a busca de qualidade e a necessidade do controle geométrico de edificações. As ações governamentais na busca da qualidade através das normas ISO 9000, bem como o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade na Construção do Habitat (PBQP-H) são também comentados. No capítulo são enfocados ainda, os resultados do questionário, aplicados nos canteiros de obras na RMR, com as características das metodologias e técnicas adotadas, e os procedimentos topográficos e geodésicos com vistas à racionalização construtiva.

2.1 O Setor da Construção Civil de Edifícios no Brasil

A Construção Civil no Brasil é parte importante no desenvolvimento econômico do país. De acordo com o CBIC (2002), a Construção Civil teve em 2001 uma participação de 8,52% do Produto Interno Bruto (PIB), em todas as suas modalidades.

Segundo o IBGE (2000), no Estado de Pernambuco, o setor da Construção Civil contava com 128 empresas e empregava mais de 16.000 pessoas. De acordo com a SUDENE (1999), o setor tinha uma participação de 4,35% do PIB do Estado. Ao mesmo tempo, a taxa de crescimento do setor em todo o Nordeste apresentava-se como a maior do país, pois, no período de 1997/98, o setor cresceu no país 1,7%, enquanto na região Nordeste o crescimento foi de 16,7%, tendo o Estado de Pernambuco uma importante parcela nessa taxa de crescimento.

Por outro lado, apesar dos avanços na indústria da Construção Civil, em particular a construção de edifícios, esse subsetor (edificações), na Região Metropolitana do Recife (RMR), ainda encontra em fase inicial suas ações e programas em busca da qualidade. As suas atividades na RMR têm-se caracterizado por um alto índice de desperdícios, baixa produtividade e elevada incidência de patologias, inclusive com

consequências desastrosas em termos de estabilidade estrutural, pressionando os empresários do setor a se posicionarem frente à sociedade. A respeito dessa necessidade de mudanças, PICCHI (1993) destaca que a cultura empresarial, sedimentada na construção civil é *“a de priorizar em primeiro lugar a questão custos e prazos, em prejuízo da qualidade”*. A sobrevivência do setor, no entanto, estará assegurada, com certeza, àqueles que conseguirem agregar ao produto a lição deixada por DEMING (1990): *“... Mais qualidade, com menos custos...”*.

A implementação de Sistemas de Gestão da Qualidade, antes mesmo de se tornar realidade na maioria das construtoras regionais, tem-se mostrado uma alternativa estratégica para que as empresas possam fazer frente às condições atuais do mercado, e às exigências da sociedade (COSTA 2001).

As estratégias das empresas na direção desta qualidade para o setor têm-se dado através de dois caminhos: primeiro através da implantação de programas de gestão de qualidade e posterior certificação pelas normas da série ISO 9000; e o segundo, através da implantação de programas de racionalização construtiva (BARROS 2001).

2.2 Conceitos de Qualidade e Racionalização Construtiva

Os setores produtivos industriais no Brasil estão cada vez mais envolvidos com o controle de qualidade de processos e produtos. Dentre estes setores, o segmento da indústria da construção civil precisa rever procedimentos, tendo em vista que o país apresenta neste setor grande desperdício de recursos. Tal fato pode ser traduzido por uma produtividade bastante inferior, quando comparada à de outros segmentos industriais (SABBATINI, 1989). O subsetor de edificações, um dos mais representativos da construção civil, onde segundo o IBGE (2000), estão 70% dos estabelecimentos existentes, caminha na direção da racionalização construtiva. FRANCO (1992) afirma que: *“... muitas são as pressões para que os diversos setores produtivos do país aumentem o nível de eficiência, tanto nos processos de produção, quanto dos produtos elaborados, visando as exigências das normas técnicas”*.

No entanto, a aplicação pura e simples de “preceitos” na busca da qualidade tem tido pouco efeito na construção civil, a não ser o de propiciar uma sensação estéril de estar “na moda” com a “onda da qualidade”. A atividade da construção civil tem peculiaridades que obrigam uma tradução cuidadosa, das estratégias e políticas pela qualidade para as condições concretas do setor. Estratégias criadas para setores de produção nitidamente industrial, como o metalúrgico ou o eletroeletrônico, não podem ser diretamente aplicadas a uma atividade que possui forte componente de trabalho artesanal, como é o caso da construção civil (PINTO 1995).

O caminho mais imediato na busca da qualidade na construção civil consiste, portanto, em uma aplicação da racionalização construtiva, pois neste processo se escolhe uma etapa ou sistema do edifício para implantação de uma metodologia, situação denominada de tática de racionalização parcial ou em etapas (SABBATINI 1989). Esta técnica, além de expor a necessidade de melhoria da cadeia produtiva, não provoca ruptura brusca no processo construtivo adotado.

2.2.1 A Definição de Racionalização Construtiva

Neste item definiremos a Racionalização Construtiva no contexto da construção de edifícios, tratando suas particularidades e contribuições para a melhoria da qualidade.

CARDOSO (1996) identifica empresas que desenvolveram ações visando competir estrategicamente no setor da Construção Civil, denominando estas ações como “Novas Formas de Racionalização da Produção – NFRP”. ALBUQUERQUE NETO (1998) afirma que, de forma coerente com a identificação dessas NFRP’s, *“é crescente o número de empresas que têm procurado a certificação dos seus Sistemas da Qualidade, com base em normas ISO 9000 ou em outros sistemas próprios”*. Isso demonstra que a racionalização dos processos da produção é uma ação que pode e deve ser adotada por empresas que desejem alcançar, não apenas a melhoria da qualidade de seus produtos e serviços, mas até mesmo a certificação dos seus sistemas de qualidade.

De forma mais abrangente, o conceito adotado por SABBATINI (1989) para a Racionalização Construtiva, também adotado por este trabalho, demonstra até que ponto a relação entre o processo da racionalização e a introdução de Mudanças Técnicas (como o CGE) e Gerenciais pode influenciar a busca da melhoria da qualidade. A definição realizada pelo autor acima citado é esclarecida e enfatizada da seguinte forma:

“Racionalização Construtiva é um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros, disponíveis na construção em todas as suas fases”.

FRANCO (1992) destaca a este respeito que “pode-se encontrar exemplos de empresas que, isoladamente, estão preocupadas em aumentar o nível de produção e a produtividade, através da melhoria das operações e das atividades envolvidas na execução dos edifícios”. Essas iniciativas adquirem as mais diversas formas, que vão desde a procura por inovações tecnológicas no mercado global à utilização de métodos construtivos racionalizados para a execução de um determinado subsistema do edifício ou ainda à utilização de um conjunto de técnicas aprimoradas para garantir o sucesso nas diversas etapas para a construção de um edifício.

Dessa forma, a racionalização construtiva tornou-se uma alternativa mais próxima à realidade da indústria da Construção Civil, sobretudo quando esta busca a certificação em programas de qualidade tais como o PBQP-H e a série ISO 9000 (ver item 2.2.2).

FRANCO (1992) aponta, no entanto, que a racionalização construtiva oriunda de intervenções isoladas tende ao insucesso, devendo ser iniciada no projeto.

Segundo BARROS (2001) apud MELHADO (1994), o “conceito de racionalização construtiva apresenta-se como instrumento de redução de custos e de aumento de produtividade, bastante poderoso para permitir a transição do estágio atual para uma nova configuração mais eficiente da atividade de construir, dentro de ambientes empresariais modernos e competitivos; sendo uma das suas características importantes o estudo e a adoção de soluções racionalizadas ainda na etapa do projeto”.

FRANCO et AGOPYAN (1993) destacam a importância da implementação da racionalização construtiva a partir da fase inicial do empreendimento, lembrando que a etapa do projeto surge como a mais conveniente para a introdução, mesmo que parcial, de medidas voltadas para a racionalização.

Conclui-se, portanto, que a Racionalização Construtiva é necessária para o desenvolvimento tecnológico na indústria da Construção Civil, em particular no sub-setor da Construção de Edifícios, podendo promover níveis mais elevados de produtividade e qualidade. A sua aplicação tem apresentado significativas vantagens no desempenho, custo e qualidade das atividades na construção de edifícios.

Nos casos da construção civil industrializada, o controle dimensional voltado para a racionalização construtiva se destaca, na medida em que a precisão dimensional é uma diretriz básica para o sucesso desta modalidade construtiva. A transformação do canteiro de obras em um espaço de montagem de peças produzidas externamente requer uma perfeita definição dos alinhamentos, planos e nivelamento do edifício, de modo a permitir o encaixe das peças e módulos dentro de tolerâncias convencionadas. Uma forte característica destas obras é o uso intenso das metodologias de posicionamento locação e conferência (BARROS 2001).

Face ao exposto, este trabalho ao propor o uso das técnicas geodésicas no levantamento e posicionamento preciso de edificações constitui-se de um procedimento importante na busca da qualidade através da racionalização construtiva. Este fato evidencia-se tendo em vista que atualmente as obras prediais, conferem pouca ou nenhuma importância ao rigor nas medidas de projeto na execução de fundações, estrutura, alvenaria, revestimento e pisos. Este tipo de problema, chega a implicar em um acréscimo de 6,5% no custo total da obra (PINTO 1995).

2.2.2 O PBQP-H e a ISO9001/2000

O PBQP-H nasceu da parceria entre o setor público e o privado, e tem como foco o aumento da competitividade no setor da construção e modernização das empresas da cadeia produtiva. Formalmente inserido como um dos programas do Plano Plurianual 2000-2003 (PPA) "Avança Brasil", o PBQP-H é também um dos instru-

mentos do Governo Federal para cumprimento dos compromissos firmados pelo Brasil quando da assinatura da Carta de Istambul (Conferência do Habitat II – 1996).

Fazem parte desse elo da cadeia produtiva os contratantes ou agentes financeiros, que podem ser tanto públicos quanto privados, e diversas entidades representativas de construtores, projetistas, fornecedores, fabricantes de materiais e componentes, comunidade acadêmica e entidades de normalização, além do Governo Federal.

Implantado em 1998 o programa visava, inicialmente, as edificações habitacionais, mas posteriormente foram incluídos saneamento e infra-estrutura urbana. Dentro do PBQP-H foram definidos 12 projetos em comum acordo pelos agentes da cadeia produtiva por meio do CTECH (Comitê Nacional de Desenvolvimento Tecnológico da Habitação), cujo objetivo é acompanhar e apoiar com sugestões e proposições a implementação dos programas. Embora a adesão ao PBQP-Habitat seja voluntária, a exigência do mercado e a própria competitividade requerem cada vez mais que as empresas tenham envolvimento. Atuando de forma gradual, o sistema é adaptado à realidade do setor e às características regionais, tendo como referencial o modelo exigido pelas normas da série NBR ISO 9000. Com a crescente preocupação na manutenção do mercado e na conquista de novos clientes, o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de Pernambuco – SINDUSCON/PE e a Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Pernambuco – ADEMI/PE, em conjunto com o Serviço Nacional da Aprendizagem Industrial – SENAI/PE e com o Serviço de Apoio as Micro e Pequenas Empresas de Pernambuco – SEBRAE/PE, firmaram entre si um Termo de Convênio, com vistas à implantação de um Programa da Qualidade na Construção Civil do Estado, com ênfase, inicialmente, nas empresas da Região Metropolitana do Recife (COSTA 2001).

O Convênio considera a necessidade de difundir, no ambiente da indústria da Construção Civil, a utilização de Sistemas de Gestão da Qualidade, bem como dos requisitos criados no PBQP – H. Participa também do Convênio a Sociedade Alemã de Cooperação Técnica (GTZ), que atua na melhoria da qualificação da mão-de-obra industrial em países em desenvolvimento. Em nível estadual, o SENAI-PE é a entidade que coordena localmente o PBQP-H, sendo também sede e uma das patrocinadoras da Associação Rede Metrológica do Estado de Pernambuco. E através do Projeto Competir Consultoria, o SENAI presta uma importante contribuição à em-

presa, com destaque ao programa setorial Sistema Evolutivo da Qualidade Aplicado à Construção Civil (SIQ), onde estão envolvidas cerca de 80 empresas pernambucanas.

Assim, com os resultados obtidos, pode-se identificar quais empresas realmente têm potencialidades para evoluir em um processo de implementação de Sistemas de Qualidade, transformando-se em empresas mais competitivas.

Recentemente através da Portaria Nº 67 (DOU de 23/12/2002, seção 1, p.p. 46-60) II – após o dia 31 de dezembro de 2003, os Organismos Certificadores Credenciados (OCCs) autorizados a qualificar empresas segundo este SIQ, só poderão fazê-lo conforme o disposto no Anexo III da NBR ISO 9000:2000 desta Portaria, tornando mais evidente a procura pelas novas certificações para o setor.

2.2.3 A Racionalização Construtiva no Contexto Regional

A Região Metropolitana do Recife (RMR) é atualmente constituída por 14 municípios (figura1), entretanto a maior parte dos edifícios em execução está concentrada em áreas dos municípios de Recife, Olinda e Jaboatão.

Estes edifícios estão sendo executados dentro do conceito construtivo denominado tecnologia tradicional, ou seja, são tecnologias já disseminadas e desenvolvidas ao longo do tempo na região. O edifício padrão em execução na RMR, de acordo com os dados obtidos na pesquisa de campo realizada (2.5), é residencial, e está sendo construído por incorporação. E assim a obra é construída com recursos do construtor, que incorpora o edifício ao seu patrimônio e o vende diretamente ao adquirente de imóvel. As obras têm estrutura de concreto moldada “in loco”, com peças moldadas com fôrmas de madeira feitas no canteiro e escoradas com peças serradas de madeira, ou escoramento metálico. O que se vê com respeito ao controle dimensional nestas obras são iniciativas isoladas de alguns construtores, que utilizam geralmente equipamentos modernos como o nível laser rotativo, e, segundo BARROS (2001), *“buscam a simples substituição de metodologias anteriormente empregadas sem vislumbrar o alcance que esta mudança poderia ter dentro do seu*

processo construtivo, no que se refere à redução de desperdícios e a prevenção de patologias”.

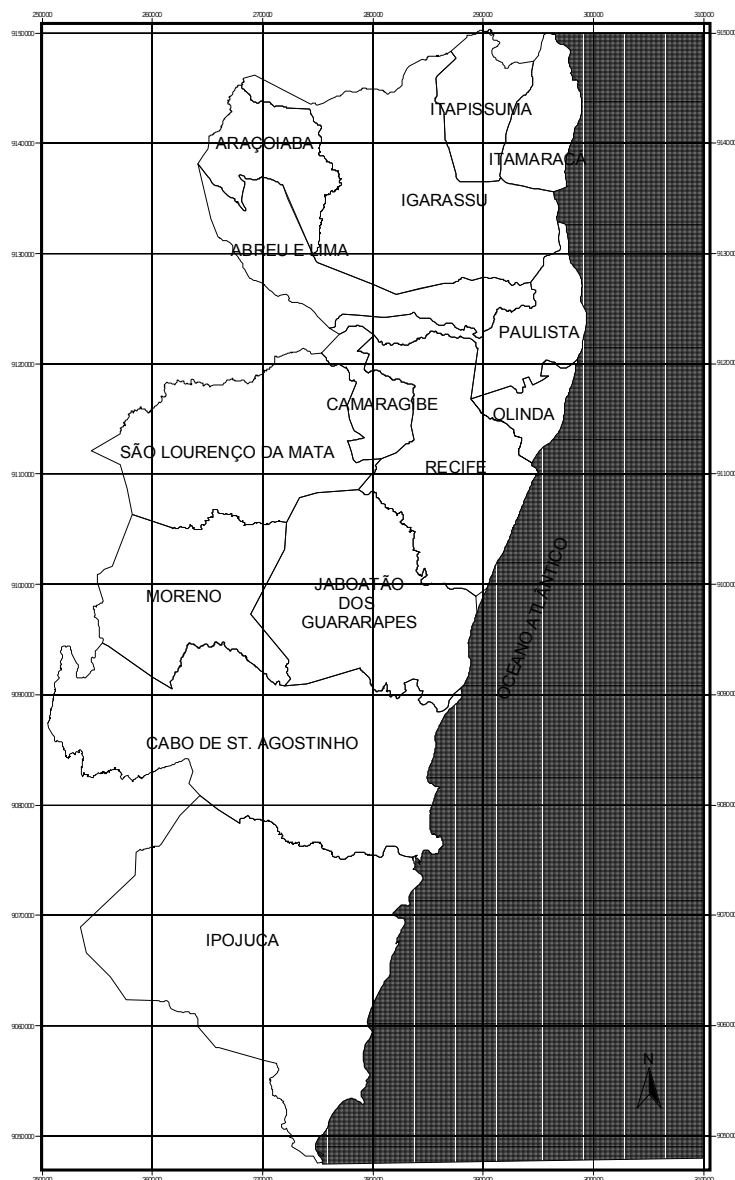


Figura 1: Distribuição espacial dos Municípios da RMR.

A Região Metropolitana do Recife (RMR) tem apresentado nas últimas décadas um enorme crescimento de edificações prediais altas e esbeltas. Justificando-se por isto um controle geométrico de edificações com métodos geodésicos durante todo o processo construtivo.

PONTES (1999) afirma que *“Algumas considerações que antes podiam ser desprezadas devem agora merecer atenção especial”*. É o caso do desvio accidental global em edifícios de múltiplos pavimentos, também conhecido por imperfeição geométrica global ou irregularidade vertical, e se verifica quando ocorrem erros construtivos que levam a estrutura como um todo, a um desaprumo ou falta de retilinearidade no eixo dos pilares. Na (RMR), como afirma BARROS (2001), *“praticamente não se observa à aplicação das metodologias e uso dos instrumentos geodésicos e topográficos para um efetivo controle geométrico de edificações visando à racionalização construtiva”*. Tal fato é mais evidente em trabalhos de coordenação de projetos que segundo FABRÍCIO (2002) apud FRANCO (2002), *“constitui-se em atividades que dão suporte ao desenvolvimento integrado de projetos para edificações prediais”*. O projeto e o gerenciamento de edificações são atividades usualmente realizadas com pouca integração e, na maior parte das vezes, sob a responsabilidade de profissionais diversos. Em geral, cada subprojeto, de arquitetura, estrutura, de instalações, etc, é contratado a um projetista diferente, cabendo a coordenação desses sub-projetos ao contratante ou ao arquiteto. Com este mesmo enfoque, FRANCO (1992) considera o projeto como a fase onde as decisões tomadas *“trazem maior repercussão nos custos, velocidade e qualidade dos empreendimentos”, além de ser a origem da maioria dos problemas patológicos dos edifícios”*.

Ao coordenador do projeto cabe garantir a compatibilidade entre as soluções de vários projetistas, exercendo a coordenação técnica que se relaciona à integração das interfaces entre os diversos projetos, ou seja, esta compatibilidade deve partir de uma base geométrica “única” devidamente georreferenciada.

VANNI (1998) afirma que “o procedimento baseado na análise de falhas deve estar direcionado a uma análise sistemática de incompatibilidades potenciais entre os tópicos de vários projetos em edificações”. O uso das técnicas geodésicas na obtenção de um levantamento georreferenciado, utilizado como “base geométrica” para estes sub-projetos, deve se traduzir em métodos usuais nos trabalhos de compatibilização de projetos e posicionamento ou locação de obra, e em potencial ferramenta de racionalização construtiva. Conforme se observa nos dias atuais, a figura do compatibilizador de projetos é relativamente nova no setor de edificações prediais. Sendo assim, visando a racionalização construtiva essa figura do compatibilizador

de projetos é o técnico que compreende o raciocínio conceitual, e consegue levar essa informação dimensional para o processo de coordenação de projetos.

Face ao exposto esta questão está sendo abordada, neste contexto de qualidade por vários pesquisadores, que vêm defendendo o papel estratégico do projeto como elemento impulsionador da racionalização do processo construtivo de edificações.

2.3 A definição de Controle Geométrico de Edificações

A definição de Controle Geométrico de Edificações embora simples, permite uma abrangência do significado do termo dentro da obra, que conduz a uma diversidade de entendimento. FERREIRA (1992) afirma que o controle pode ser entendido como: *“ato ou poder de controlar, ou a fiscalização exercida sobre as atividades de pessoas, órgãos, departamentos ou sobre produtos, para que tais atividades ou produtos não desviem das normas preestabelecidas”*.

O termo geométrico, segundo o mesmo autor, é “relativo ou pertencente à geometria ou próprio dela”. Segundo BARROS (2001) se estabelece o conceito de controle como “o conjunto de atividades técnicas e planejadas, através das quais, se pode alcançar uma meta e assegurar um nível predeterminado de qualidade, ou seja, controla-se uma qualidade”.

No contexto da construção de edifícios, o controle geométrico está relacionado com a definição da geometria projetada em lajes, vigas ou pilares nas edificações prediais, e a execução dos elementos constituintes do edifício na geometria projetada e em uma etapa seguinte, medir os desvios entre a geometria projetada, de cada elemento e aquela realmente executada.

No presente trabalho, onde se propõe o uso de métodos geodésicos no levantamento do terreno e posicionamento da obra, e uma contribuição ao cadastro imobiliário, estes desvios medidos são comparados com as tolerâncias convencionadas, segundo as normas e no caso de valores acima desta tolerância, estabelece-se a situação de não conformidade.

2.4 Considerações sobre a Necessidade de uma Metodologia para a RC

Um dos pontos mais relevantes, constatado na pesquisa de campo realizada, diz respeito à pequena percepção, no meio técnico da engenharia de edificações, de que somente a observância de procedimentos topográficos e/ou geodésicos, possibilita uma melhora no posicionamento da obra para a racionalização construtiva. Na vivência diária com engenheiros de obra e projetistas, nota-se que estes desconhecem a aplicação das normas NBR14645: 2001 e da NBR13133: 1994, e dos procedimentos a uma perfeita realização de todas as etapas para a racionalização construtiva.

O que existe é uma falta de entendimento destes procedimentos, dentro da obra, como um processo sistemático e estratégico para a qualidade, que abrange assim todas as atividades de medição implementadas. Estas atividades de medição devem ser integradas, e não realizadas de maneira estanque, ou seja, entre si independentes. Sobre este assunto afirma BARROS (2001): *“a falta deste entendimento, se deve em parte, à distribuição temporal do controle dimensional ao longo do ciclo de edificação da obra e também a variedade de métodos, pessoal e instrumentos utilizados em cada etapa”*.

Assim este *entendimento* é fundamental, ou seja, apenas a realização dos trabalhos topográficos e geodésicos em fases progressivas integradas, desde o levantamento do terreno e locação da obra, com métodos geodésicos é que possibilita um correto posicionamento e ereção da edificação e suas partes. Evidencia-se assim que a obtenção de um melhor resultado na qualidade geométrica das obras é decorrente da aplicação destes importantes procedimentos para a racionalização construtiva.

Conforme proposto, o controle geométrico para racionalização construtiva, deve iniciar-se na fase do projeto, desde o levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral no terreno urbano e segue nos demais trabalhos de posicionamento da obra. O produto deste levantamento topográfico, sendo assim “base geométrica comum”, aos diversos projetos executivos relacionados à edificação possibilita em todas as demais etapas um adequado posicionamento das suas partes componentes.

Ao estabelecer uma seqüência de campos de pontos para referência possibilita a integração das etapas de levantamento e posicionamento. No entanto convém acrescentar, que embora não seja objeto deste trabalho, o controle dimensional deve prosseguir em todas as demais etapas do processo construtivo na edificação, indo até à execução da estrutura da obra e seus subsistemas, sobretudo na definição de planos, esquadros e nivelamento dos componentes construtivos (lajes, vigas e pilares).

A aplicação de métodos topográficos e geodésicos se torna, portanto um eficiente caminho para implantação da estratégia de racionalização construtiva, sendo feito de maneira parcial ou por etapas, e contribui com o *“fazer em conformidade”* segundo solicitado nas normas certificadoras ISO 9000.

2.5 Pesquisa de Campo

Analisando os dados da pesquisa de campo realizada, através de visitas aos canteiros, no período de 2000/2001, em cerca de 42 obras, de 32 construtoras diferentes, nos municípios de Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes, integrante da Região Metropolitana do Recife (RMR) se pode ter o estado da arte dos trabalhos de racionalização construtiva na RMR. O número de edifícios em construção na RMR em Janeiro/2000, segundo informação verbal obtida do Sindicato da Indústria da Construção, SINDUSCON – PE, era de cerca de 300 (trezentos). A pesquisa permitiu obter o estado da arte, dos procedimentos de racionalização construtiva na RMR principalmente dos procedimentos para o controle dimensional da obra.

2.5.1 Tipos de Obras

De acordo com a pesquisa a maioria dos edifícios em construção, na Região Metropolitana do Recife, tem por finalidade o uso residencial (90%), está sendo construído dentro de um contrato de incorporação (94%), possuem uma área média por pavimento tipo de 391,4m², com variação entre 150 e 1.800m² e serão construídos com uma média de 20 pavimentos, com variações entre 9 e 36. Os números apontam para a concentração dos construtores num nicho de mercado e o esgotamento do modelo de construção por condomínios, além de ressaltar a verticalização em curso nas áreas nobres das cidades pólos da RMR (BARROS 2001). A seguir são apresentados gráficos esquemáticos, mostrando a distribuição dos tipos de obras e dos contratos no universo pesquisado (figura 2). Foram analisados os tipos de obras e os tipos de procedimentos para locação planimétrica e controle empregados.

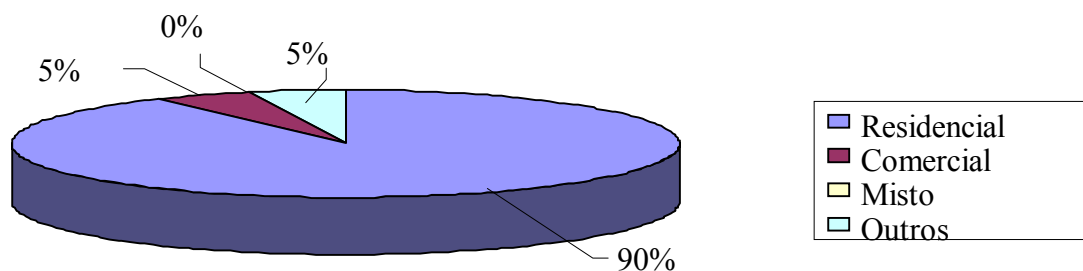


Figura 2: Tipos de Obras.

2.5.2 Sistemas de Controle Geométrico Utilizados

Com relação aos trabalhos de CGE empregados, constatou-se na pesquisa uma grande diversidade de métodos nas diversas fases de obra, com a convivência de equipamentos modernos e rudimentares. Ou seja, as empresas utilizam técnicas topográficas para trabalhos de CGE sem, no entanto, refletirem melhoras substanciais no desperdício. Este desperdício é o visível, e localizado dentro do canteiro de obras sob forma de entulho, e o invisível que se encontra incorporado à edificação, seja em recobrimentos desnecessários, nas vigas e pilares e também o capeamento em lajes, com enorme espessura deste recobrimento na camada de concreto.

Com relação aos valores dos desvios, nas lajes, foram apurados espessuras adicionais ou desperdício da ordem de 4,5 cm na média. Classificando os valores de espessuras médias de acordo com os equipamentos empregados, tem-se a seguinte situação:

a) Nível de mangueira	5,9 cm
b) Nível laser	4,3 cm
c) Nível alemão	3,3 cm

Nas fachadas, os desvios de verticalidade, apurados em todas as obras apresentaram uma grande dispersão de valores, com variações entre 3 e 14 cm, sem influência da altura dos edifícios. A média apurada foi de 6,7 cm, muito acima de qualquer tolerância especificada na norma ISO 7976-1, cujo maior valor especificado é de 15mm.

Como este desvio, normalmente, só é medido após a conclusão da alvenaria de fechamento externo, ele é altamente influenciado pelos outros controles, exercidos ao longo da execução das etapas anteriores. A grande dispersão encontrada, retrata fielmente a grande diversidade de métodos adotados nos canteiros de obras. E também, a falta de percepção que apenas o controle dimensional realizado de forma global na obra, permite minimizar o desperdício nestes canteiros de obras.

Um outro aspecto constatado na pesquisa, é a falta de uma visão global do CGE, ao longo do desenvolvimento da obra. Não há uma clara percepção, de que a

definição geométrica de um elemento pode depender de outro elemento construtivo, e que os desvios constatados numa etapa, não foram necessariamente provocados quando da execução desta etapa executada.

Ainda tem-se que existe adoção de tolerâncias resultantes da “experiência” para os diversos desvios constatados em planos verticais e horizontais utilizados na definição geométrica da obra. As normas brasileiras sobre o assunto são inexistentes, e os poucos trabalhos na literatura utilizam-se das especificações estrangeiras sobre o tema, como a ISO 7976-1 que consta na bibliografia consultada.

A grande dispersão encontrada retrata fielmente a diversidade de métodos e, sobretudo, como está em falta a integração de métodos topográficos para um efetivo racionalização construtiva nas obras pesquisadas. Na seqüência são mostrados gráficos com os indicadores (%) apurados na pesquisa para as diversas etapas do CGE empregadas nas obras. Os gráficos evidenciam, nestas obras pesquisadas, que existe o uso do sistema de eixos com transferência ou deslocamento vertical, sendo o nivelamento de lajes com nível a laser, e realizado durante a forma e concretagem destas l

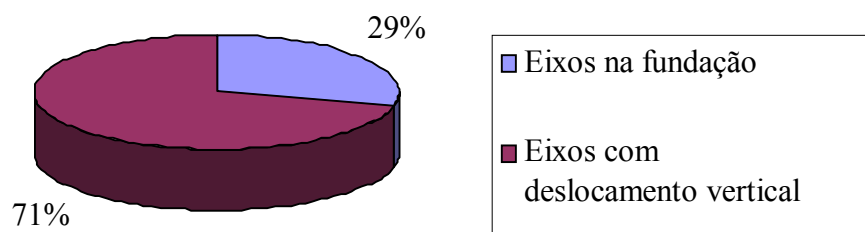


Figura 4: Etapas de nivelamento da laje.

O prumo de pilares, sendo controlado predominantemente durante a confecção de formas e concretagem.

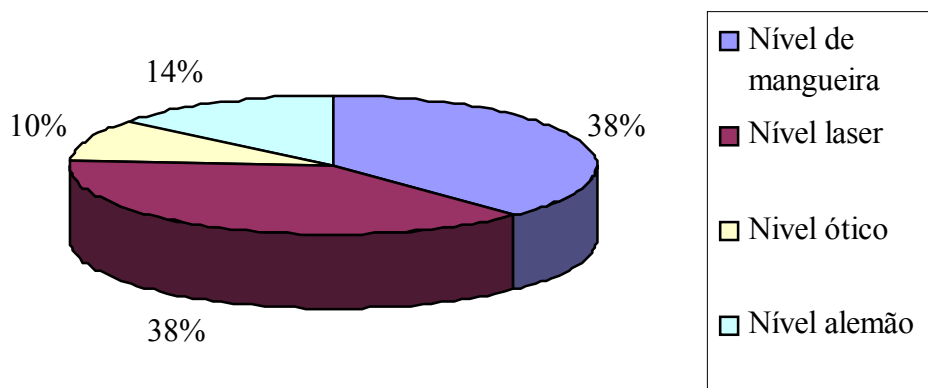


Figura 5: Métodos de nivelamento de lajes.

Evidencia-se ainda, com estes resultados mostrados, a falta de visão integrada por parte dos executores de obras de edificações, da importância de uso em todas as etapas do processo construtivo das técnicas topográficas e geodésicas mais precisas, como as aqui propostas.

Os processos topográficos, sobretudo na tentativa de nivelamento de lajes e prumo de pilares, refletem a busca do resultado “imediato” na percepção do controle de qualidade da geometria destas peças estruturais. O engenheiro “tocador de obras” não é assim capaz de reunir dentro da obra o saber disperso na área de mensuração aplicando-o de maneira integrada em todo o processo construtivo. Dos resultados advindos da figuras 4 e 5, percebe-se ainda que estas etapas, embora estejam sendo realizados durante a fase de forma e concretagem, os resultados obtidos para o nivelamento de lajes ainda é de 4,5cm de espessura em média. Para o prumo de fachadas o intervalo desta camada de revestimento encontra-se desperdício entre 3cm e 14cm.

A principal constatação, decorrente dos resultados desta pesquisa de campo, é que existem ações concretas dentro da obra para reduzir desperdícios e melhorar a qualidade. Estas ações com certeza tendem a se efetivar, pela implementação das recomendações das normas da série ISO9001 versão 2000, e este trabalho ao propor o posicionamento preciso da obra constitui importante procedimento para a racionalização construtiva.

3. MÉTODOS GEODÉSICOS NA RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA

São apresentados neste capítulo os conceitos geodésicos de redes ou campos de pontos de referência e objeto, bem como as principais normas técnicas nacionais e estrangeiras, relacionadas ao tema topografia para a execução de controle dimensional em obras de edifícios. Comentam-se também, o tema metrologia dimensional e uso para a racionalização construtiva, os conceitos de propagação de erro e ajustamento de poligonais, assim como as normas para redes de referência do cadastro, e as especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos no Brasil.

3.1 Conceitos Gerais de Geodésia

3.1.1 Definição de Geodésia e os Modelos da Terra

A Geodésia tem sido definida, pelos seus objetivos, como a ciência que se ocupa da determinação da forma e das dimensões da Terra, ou de porções da sua superfície (GEMAEL 1987). De uma forma mais abrangente a definição de Geodésia adotada pela FIG (Federação Internacional de Geômetras) atribuída a F. R. Helmert é *“a ciência da medição e representação da superfície da Terra”*. Nesta definição está incluído também o estudo detalhado do campo de gravidade, cujos resultados propiciam a determinação rigorosa da forma da Terra (TORGE 1991).

A Geodésia é, assim, considerada a ciência-mãe, pois engloba todas as ciências e técnicas de mensuração e de representação da Terra e de outros corpos celestes.

A forma matemática da Terra, adotada nos trabalhos geodésicos, é a figura geométrica do elipsóide de revolução, obtido pela rotação de uma elipse em torno do seu eixo menor. E desde o século XIX, geodestas tem se empenhado na determinação dos parâmetros que definem o elipsóide que mais se aproxima da forma da Terra. Entre eles, podemos citar os elipsóides de Bessel (1841) adotado em alguns países da Europa, Clark (1880) adotado nos Estados Unidos, HAYFORD (1909),

Elipsóide de Referência Internacional de 1967 e mais recentemente o Elipsóide de Referência Internacional 1980.

O elipsóide de revolução representa, assim, a forma geométrica da Terra que é adotada em substituição à forma irregular do geóide, que, segundo GEMAEL (1987), é *“a superfície livre das águas do mar (nível médio) em equilíbrio, prolongada através dos continentes, e normal em cada ponto à direção da gravidade”*.

Ao conjunto de pontos geodésicos estabelecidos no território delimitado pelas fronteiras de um País, cujas coordenadas são obtidas por procedimentos operacionais e de cálculo de precisão de acordo com as normas e finalidades a que se destinam, denomina-se Sistema Geodésico ou Datum Geodésico.

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) está integrado ao Datum Sul-Americano 1969 (SAD-69), o qual é adotado pela maioria dos países sul-americanos, desde 1969, e tem como modelo matemático o Elipsóide de Referência Internacional 1967, cujos parâmetros oficiais são:

Semi-eixo maior $a = 6.378.160,00\text{m}$

Achatamento $f = 1/298, 25$.

O datum SAD-69 tem seu elipsóide com o eixo de rotação orientado paralelamente ao eixo de rotação da Terra (ver figura 7); o plano meridiano origem paralelo ao plano meridiano de GREENWICH, como definido pelo BIH (Bureau International de l' Heure). O eixo está deslocado de forma que a superfície do elipsóide coincida com o geóide no vértice origem CHUÁ em Minas Gerais, da Rede Brasileira de 1ª Ordem cujos dados estão indicados a seguir:

A origem das coordenadas ou *datum* planimétrico :

- altura geoidal: 0m;
- coordenadas: latitude $19^{\circ} 45' 41,6527''\text{S}$ e longitude $48^{\circ} 06' 04,0639''\text{W}$;
- azimuth geodésico para o Vértice de Uberaba $271^{\circ} 30' 04,05''$; e ainda

a origem da altitude ou *datum* altimétrico localizado em Imbituba- SC.

O SAD-69 é aceito pela Assembléia Geral da Associação Internacional de Geodésia (IAG), realizada em Lucerne em 1967. O SGB é o sistema de referência oficial, ao qual devem estar referidas todas as informações geoespaciais no Brasil.

O termo georreferenciamento ao SGB, utilizado neste trabalho, consiste em conectar todos os levantamentos efetuados a este sistema geodésico oficial.

3.1.2 Definição de Topografia e a Relação com a Geodésia

Quando a extensão territorial atinge um raio em torno de 25 km (SEIXAS1981) e (DOMINGUES 1979), o modelo matemático adotado para a Terra é um plano, onde são representados os acidentes naturais e artificiais do terreno. E aqui a ciência é denominada Topografia, definida por TAJERO (1978) como “*o estudo dos métodos necessários para chegar a representar um terreno com todos os seus detalhes naturais ou criados pela mão do homem, bem como o conhecimento e manejo dos instrumentos que se necessitam para tal fim*”. De acordo com as definições clássicas de topografia, o seu objetivo primordial é geralmente a representação no “papel” de uma porção limitada da superfície terrestre. A tabela 1 onde estão apresentados os valores do erro planimétrico, devido à curvatura da terra, mostra que para uma extensão de até 23Km ($\alpha=12,5'$), não há necessidade de se efetuar a sua correção (Δd), tendo em vista que se admitem na topografia erros relativos (δ) da ordem de 1:200000. Na tabela1, $R=6370\text{Km}$ (raio médio da Terra) e D e $D1$ são as distâncias referidas respectivamente ao geóide e ao plano tangente. DOUBEK (1981) no entanto é mais rigoroso, mostrando que este erro planimétrico (Δd) varia também com o aumento do desnível (Δh) entre os pontos limites. E assim fixa os limites máximos de d , sem prejuízo da precisão gráfica (0,25 mm), em função da escala da planta e deste desnível.

Tabela 1 : Valores do erro planimétrico devido à curvatura da Terra. Adaptada de Loch 1995.

α	$D1= R.\tan \alpha$	$D=R\alpha$	$\Delta d= D1-D$	δ
12,5'	230007,661m	23007,560m	0,100 m	1:230000

CINTRA (1993), ao comentar a diferença entre topografia e geodésia, do ponto de vista da extensão territorial, afirma que “*esta distinção encontrada em algumas obras, conquanto real, é incompleta para caracterizar bem a questão*”, e também, pelo fato da geodésia não se preocupar com a representação das edificações, acidentes geográficos, do relevo ou dos dados cadastrais, elementos tão próprios da topografia. Por outro lado, a conceituação empregada para a Geodésia e Topografia

nos países europeus consideram a primeira em sentido amplo, englobando assim a Topografia. No Brasil estas ciências, são tratadas isoladamente diferenciando-se a Geodésia da Topografia, sendo ainda consideradas partes da ciência Cartografia.

3.1.3 Sistemas de Referência e Sistemas de Projeção

O principal problema geodésico pode ser considerado como a determinação das coordenadas geoespaciais de pontos da superfície. E para isto é necessária a definição de um sistema de coordenadas apropriadas no estabelecimento da posição de pontos na superfície da Terra.

CASTANHEDA (1986) define um sistema coordenado como sendo “*uma relação de regras que especifica univocamente a posição de um ponto no espaço através de números reais de coordenadas*”.

A superfície da Terra pode ser representada por um conjunto de pontos, cujas coordenadas geodésicas são latitude (ϕ), longitude (λ) e altura. Esta altura podendo ser altura geométrica (h) ou altitude ortométrica (H) se a referência é o elipsóide ou o geóide, respectivamente. As coordenadas são definidas em um sistema tridimensional, cuja origem coincide com o centro do elipsóide em que essas coordenadas são calculadas (elipsóide adotado para o sistema geodésico, ver figura 6). Quando a origem do sistema de coordenadas coincide com o centro de massa da Terra, diz-se tratar de um sistema geocêntrico global (como exemplo, tem-se o sistema WGS-84 utilizado pelo GPS).

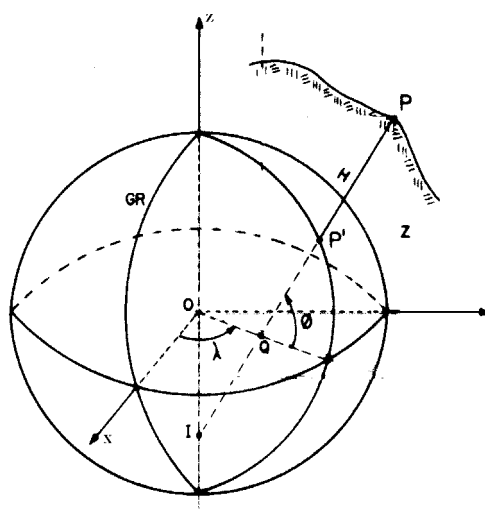


Figura 6: Elipsóide Geocêntrico.

No caso do SGB, o elipsóide de revolução adotado (elipsóide de referência 67) embora sendo geocêntrico, é deslocado paralelamente ao eixo de rotação da Terra, de forma que a superfície do elipsóide coincida com a superfície do geóide no vértice CHUÁ da rede planimétrica de 1ª ordem, localizado em Minas Gerais (IBGE1998). Assim, o elipsóide de referência definido pelo SAD-69 é dito local (ver figura 7).

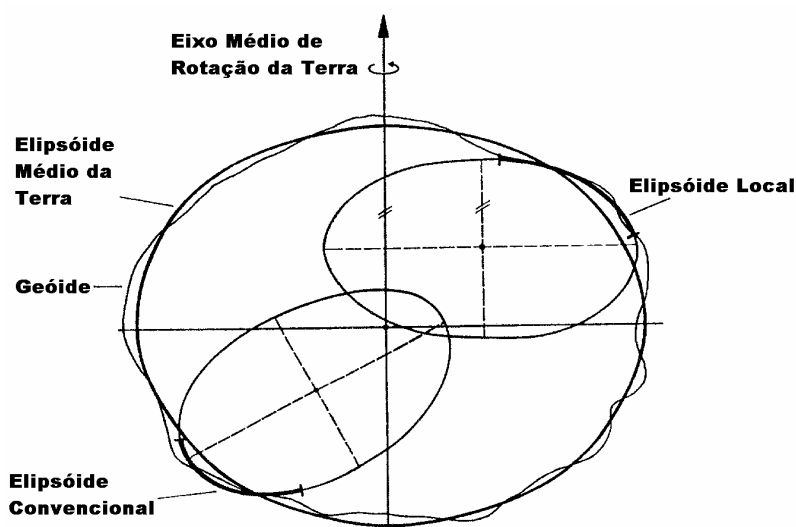


Figura 7: Elipsóide Local. Fonte: Adaptada de Seeber 1993.

Como as coordenadas de pontos obtidos por posicionamento GPS estão referenciadas ao sistema global WGS-84, nos trabalhos geodésicos, para levantamentos de engenharia com vistas à representação cartográfica e georreferenciamento ao SGB segundo as especificações do IBGE, deve-se proceder a uma transformação, entre o sistema geodésico global (no caso de uso do GPS, em WGS-84) e o nacional (SAD-69) .

Na Topografia, como as porções da superfície são de pequenas extensões (ver 3.1.2) elas são consideradas planas, as coordenadas dos pontos dessa superfície são definidas em um sistema plano, topocêntrico, chamado plano topográfico local, em que a origem do sistema de coordenadas coincide com um ponto da superfície no local do levantamento, segundo descrito na NBR13133: 1994. Os eixos coordenados tomam as direções Norte e Leste, respectivamente, definindo assim as chamadas coordenadas cartesianas plano-retangulares, e o sistema é denominado Sistema Topográfico Local (STL). Este se define, segundo a norma NBR 13133:1994

como “um sistema de representação pelo método clássico, para a representação das posições relativas dos acidentes levantados, através de medições angulares e lineares e cujas características são: as projetantes são ortogonais à superfície de projeção e a superfície de projeção um plano normal à vertical do lugar no ponto da superfície terrestre considerado como origem do levantamento”.

VARGAS & SCHAAL (2002) ao se referir a estes sistemas, afirmam “*que no Sistema Topográfico Local os levantamentos convencionais ou suas medições (ângulos e distâncias) estão projetados em verdadeira grandeza sobre o plano tangente à superfície de referência (elipsóide de referência) do sistema geodésico adotado, na origem cujas coordenadas geodésicas são conhecidas*”.

Evidencia-se neste caso, que na topografia os sistemas de referência e projeção podem ser coincidentes. Conforme explicita a NBR14166: 1998, as coordenadas plano-retangulares são “*as coordenadas cartesianas definidoras da localização planimétrica dos pontos medidos no terreno e representados no plano topográfico do sistema local, por intermédio de um sistema cartesiano ortogonal, cuja origem está no ponto de tangência deste plano com a superfície de referência adotada pelo Sistema Geodésico – SGB*”.

Estas coordenadas referidas ao sistema de referência topográfico são denominadas, portanto, de coordenadas topográficas locais.

A representação da superfície da Terra ou de porções dela é realizada através da Cartografia, definida de maneira clássica como a ciência, arte e técnica de expressar graficamente por meio de cartas e mapas o conhecimento humano da superfície da Terra, utilizando-se de ferramentas denominadas projeções cartográficas para representar uma superfície desenvolvível em um plano (BAKKER 1965).

Dentre os diversos sistemas de projeção definidos na Cartografia, o denominado Sistema de Projeção Universal Transverse de Mercator (UTM) é adotado no Brasil para elaboração de todas as cartas do mapeamento sistemático nacional (IBGE 1998). Este sistema pode ser também adotado para a representação em escalas grandes, sobretudo nas denominadas plantas topográficas cadastrais. Maiores detalhes sobre a representação UTM podem ser encontrados em BAKKER (1965), e LOCH (1995). No entanto, algumas restrições relativas às deformações apresentadas em plantas podem ser observadas, e apresentam problemas no uso desta projeção, nesta situação, conforme comentado em PHILIPS (1997) e SILVEIRA (1990).

O sistema UTM, origina-se de uma projeção conforme de Gauss o qual adota originalmente o cilindro transverso tangente ao elipsóide no meridiano central do fuso, que neste se projeta em verdadeira grandeza. No entanto o sistema UTM apresenta reduções das deformações da projeção ao tornar, analiticamente o cilindro tangente em secante (figuras 8 e 9). Além disso o sistema UTM, apresenta as propriedades de conformidade, ou seja, conserva os ângulos. E ainda apresenta deformações uniformes ao redor de um mesmo ponto que corresponde à lenta variação da escala de projeção (figura 8).

Entre as principais características do sistema UTM, tem-se a utilização do elipsóide de revolução como superfície de referência, com a sua divisão em 60 fusos de 6° de variação longitudinal, estabelecendo, para cada um deles, um sistema de coordenadas plano-retangulares, cujos eixos são o equador e o meridiano central do fuso. Os sistemas parciais ou fusos são numerados a partir do antimeridiano de Greenwich no sentido leste. A origem das coordenadas no cruzamento do equador com o meridiano central do fuso é acrescido das constantes 10 (dez) milhões de metros nas ordenadas (só para o hemisfério sul) e 500.000 metros nas abscissas. No Meridiano Central (MC) é aplicado um fator de redução de escala $k=0,9996$; e sendo a UTM uma projeção conforme, mantém inalterados os ângulos conforme descrito em SILVEIRA (1990) e PHILIPS (1997).

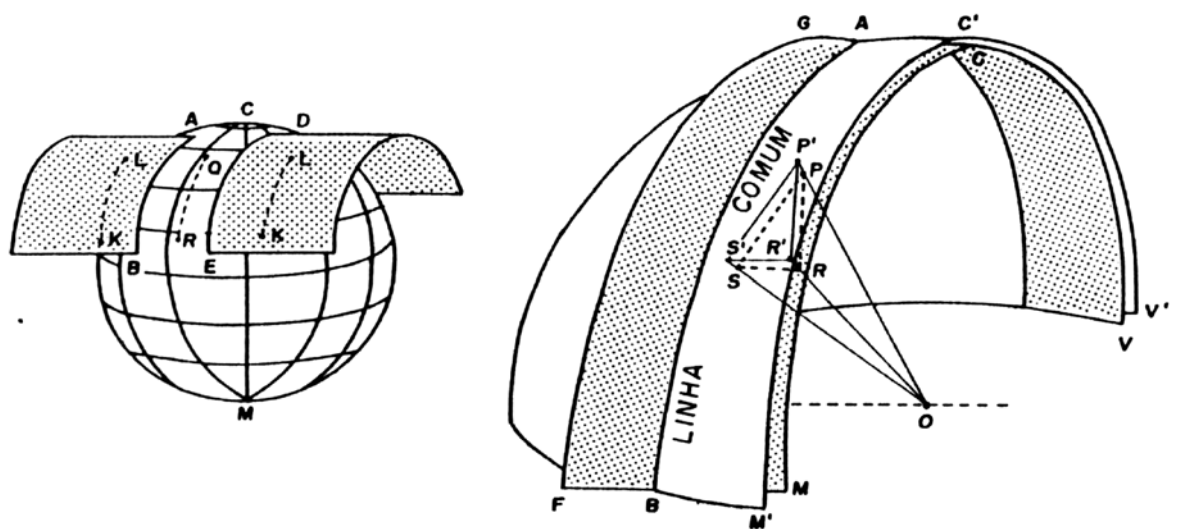


Figura 8: Cilindro Secante UTM. Fonte: Silveira 1990. **Figura 9:** Projeção UTM. Fonte: Silveira 1990.

3.1.4 A Metrologia Dimensional e o Posicionamento Preciso na Obra

Os dados topográficos obtidos a partir de observações, que se fazem acompanhar de inevitáveis erros de medidas, identificam na metrologia, as exigências necessárias para se estabelecer níveis de desempenho para os serviços de levantamento (GEMAEL 1994).

A Metrologia é a técnica que especifica, através de regulamentos, as condições necessárias para assegurar um nível adequado de credibilidade para as observações, para os instrumentos de observação e para os produtos gerados em função destas observações.

Do ponto de vista deste trabalho, a Metrologia foi abordada como afirma SILVA (2000), sendo *um conjunto de técnicas aplicadas as medições de características físicas e dimensionais dos materiais*. Entre as áreas de sua utilização tem-se a Metrologia Dimensional, na qual insere-se a Topografia. E como visto anteriormente estas utilizam instrumentos topográficos, que compreendem desde aqueles baseados em localização polar, até os que utilizam a tecnologia de posicionamento por GPS e que, portanto, devem ser calibrados.

Assim sendo, torna-se inquestionável a necessidade de serem efetuadas calibrações nos equipamentos, que foram utilizados em cada método de posicionamento, tendo-se o cuidado de atender às prescrições técnicas indicadas pela ABNT e às especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos do IBGE (1998).

A precisão pretendida em um levantamento depende, dentre outros fatores, da precisão do equipamento utilizado que deve periodicamente ser submetido a uma calibração. Assim, é necessário estabelecer uma metodologia de controle da precisão deste equipamento, para garantir que as observações atendam as especificações preestabelecidas de acordo com a classificação dos equipamentos segundo as normas da ABNT.

Segundo a Norma Brasileira NBR 13133:1994, a classificação de teodolitos é normalmente definida pelos fabricantes. Em caso contrário, deve ser efetuada por entidades oficiais e/ou universidades, com base apropriada para as suas classificações. Contudo, tem sido demonstrado na prática que esta primeira classificação deve ser repetida periodicamente, pois com o uso existe conseqüentemente o desgaste dos instrumentos.

E conforme MEDINA (1998), no que tange às normas técnicas brasileiras, empresas e também órgãos públicos têm solicitado trabalhos topográficos com metodologias e precisões prescritas nesta norma. A NBR13133: 1994 no item 4.1.3, afirma que *os medidores eletrônicos de distâncias (MED) devem ser calibrados, no máximo a cada dois anos, e a classificação dos mesmos só terão validade quando efetuada por entidades oficiais ou universidades.*

Uma norma internacional a este respeito, usada pelos principais fabricantes de equipamentos é a DIN 18723, norma alemã citada na NBR13133: 1994, que trata dos processos de calibração de instrumentos topográficos.

Portanto, deve-se ressaltar neste trabalho que, a calibração de equipamentos, destinados ao controle dimensional em edificações assume enorme importância para que se possa atender ao prescrito nas normas da série ISO9001/2000, que exigem este procedimento de forma regular e obrigatória.

3.1.5 Transformação de Coordenadas para o Georreferenciamento

Na atualização das plantas topográficas cadastrais de áreas urbanas, com novas edificações prediais é necessário que estas estejam representadas no mesmo sistema de referência do sistema cartográfico implantado (SILVA 1979). As coordenadas utilizadas para amarrar os levantamentos a uma rede de referência cadastral, podem ser apresentadas em duas formas. Em uma superfície elipsoidal, recebem a denominação de coordenadas geodésicas, e em uma superfície plana recebem a denominação da projeção às quais estão associadas, como por exemplo, as coordenadas planas (N, E) do sistema UTM descritas no item 3.1.3.

As coordenadas definidas no UTM têm sido adotados em levantamentos, na maioria das regiões metropolitanas brasileiras; embora, segundo a NBR14166: 1998 se admita também, o uso do Sistema Topográfico Local.

No presente trabalho, ao usar o posicionamento GPS, propõe-se o transporte de coordenadas, (na projeção UTM), desde um ponto do SGB (p.ex da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC), até dois pontos de referência no terreno da obra (base), para a realização do georreferenciamento dos pontos limites do terreno da obra, permitindo assim a atualização das plantas cadastrais. Para isto ne-

cessita-se de uma transformação de coordenadas. No presente trabalho é proposta uma transformação de similaridade de Helmert, a qual é descrita a seguir.

Como nos trabalhos topográficos para o posicionamento na obra as coordenadas cartesianas são referidas ao sistema de referência topográfico local, e os dois vértices intervisíveis da base, (figura 10), têm suas coordenadas referidas ao sistema UTM, necessita-se aplicar uma transformação entre os pontos comuns ($P_0, P_1, P_2, \dots$) aos dois tipos de sistemas.

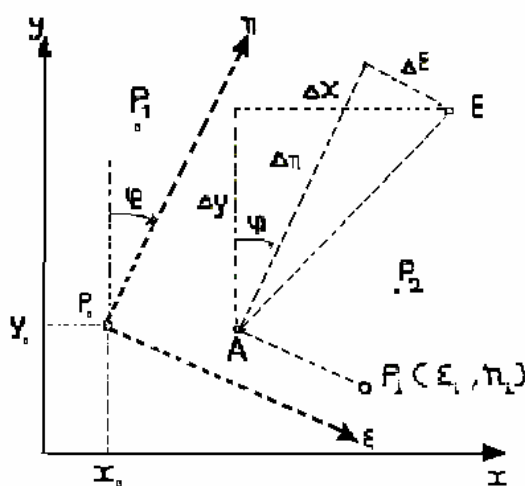


Figura 10: Sistema de Coordenadas.

Fonte: Kahmen et Faig 1988.

Uma das transformações mais usuais é a de similaridade, que segundo KAHMEN et FAIG (1988), no modelo plano, expressa a relação entre dois sistemas de coordenadas por meio de:

- a) duas translações ou deslocamentos (x_0, y_0) em ambas as direções;
- b) rotação por um ângulo φ ;
- c) multiplicação por fator de escala (q) para homogeneizar a métrica nos sistemas.

A figura 10 apresenta a representação gráfica dos sistemas, (X, Y) e (ε, η) .

Também conhecida como transformação de quatro parâmetros, a transformação de similaridade tem a característica de manter a forma, sendo por isto chamada transformação conforme bi-dimensional. É evidente que esta transformação requer um mínimo de 2(dois) pontos, denominados pontos de controle, comuns em ambos os sistemas. Outrossim, caso existam mais de dois pontos de controle disponíveis, um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados é possível (WOLF et GHILANI 1997). Na transformação de similaridade de Helmert são dados r pontos com coordenadas conhecidas nos dois sistemas. Sendo n pontos conhecidos no primeiro desses sistemas de coordenadas, determina-se às coordenadas dos $(n-r)$ pontos no outro sistema (KAHMEN et FAIG 1988). Os valores no centro de gravidade (X_s, Y_s) (ε_s, η_s) nos dois sistemas, sendo usados para obter as diferenças de coordenadas.

Quadro 1 : Modelo matemático de Helmert. Fonte: Kahmen et Faig 1988.

Coordenadas do centro de gravidade			
$X_s = \Sigma x/n$	$Y_s = \Sigma y/n$	$\varepsilon_s = \Sigma \varepsilon/n$	$\eta_s = \Sigma \eta/n$
Desvios			
$\Delta X_i = X_i - X_s$	$\Delta Y_i = Y_i - Y_s$		
$\Delta \varepsilon_i = \varepsilon_i - \varepsilon_s$	$\Delta \eta_i = \eta_i - \eta_s$		
Parâmetros auxiliares de transformação			
$a = (\Sigma \Delta \eta . \Delta y + \Sigma \Delta \varepsilon . \Delta x) / \Sigma (\Delta \varepsilon^2 + \Delta \eta^2)$			
$o = (\Sigma \Delta \eta . \Delta x - \Sigma \Delta \varepsilon . \Delta y) / \Sigma (\Delta \varepsilon^2 + \Delta \eta^2)$			
Fator de escala			
$q = \sqrt{a^2 + o^2}$			
Ângulo de rotação			
$\varphi = \text{arc tg } o/a$			
Centro de rotação			
$X_o = X_s - o \eta_s - a \varepsilon_s$			
$Y_o = Y_s - a \eta_s + o \varepsilon_s$			
Resíduos lineares			
$dx_i = (X_s + a \Delta \varepsilon_i + o \Delta \eta_i) - X_i$			
$dy_i = (Y_s + o \Delta \varepsilon_i + a \Delta \eta_i) - Y_i$			

onde (X_i, Y_i) e (ε_i, η_i) são as coordenadas nos sistemas (X,Y) e (ε, η) .

Esta transformação, descrita em KAHMEN et FAIG (1988), pode ser resumida nas expressões matemáticas, com a indicação dos parâmetros de transformação, utilizada para obtenção das tensões lineares, traduzidas pelos resíduos (dx_i e dy_i) dos pontos idênticos, ou pontos de controle, nos dois sistemas, como mostra o quadro 1.

O método empregado neste trabalho compreende a transformação conforme bi-dimensional, entre as coordenadas de dois pontos idênticos em dois sistemas, a saber, o sistema local e aquele usado para a base de apoio georreferenciada.

As expressões matemáticas apresentadas no quadro 1 para a transformação de similaridade (figura 10), a partir das coordenadas dos 2 (dois) pontos comuns de apoio (A e E) têm na busca destes quatro parâmetros, solução única, denominada assim como transformação de similaridade em solução única.

3.2 Campos de Pontos para o Posicionamento de Edificações

De acordo com o projeto ou finalidade na engenharia, um campo de pontos geodésicos de referência (ou rede e micro redes geodésicas) pode ser uni, bi ou tri-dimensional, sendo estes campos de fundamental importância para trabalhos de levantamento, posicionamento ou locação de obra, com vistas ao seu controle geométrico. Conforme a superfície de referência adotada, seja o plano topográfico (Euclidiano), ou o elipsóide de revolução, podemos falar em campo de pontos topográficos (ou rede topográfica), e campo de pontos geodésicos (ou rede geodésica) quando a curvatura da Terra é considerada. Quanto a sua abrangência pode-se falar em rede global, regional ou local.

Nos trabalhos topográficos e/ou geodésicos, para o controle geométrico de edificações prediais, evidencia-se a necessidade de uso destes campos de pontos com característica local que podem ser agrupados em dois tipos, a saber: o campo de pontos de referência e o campo de pontos-objeto.

3.2.1 Campo de Pontos de Referência

Um campo de pontos de referência é um conjunto de pontos materializados no terreno e que tem suas coordenadas conhecidas, determinadas de acordo com

as especificações do IBGE (1998) ou segundo as normas da ABNT a NBR13133: 1994 utilizados para apoio em trabalhos geodésicos e topográficos. E ao utilizar, no cálculo das poligonais ou redes os programas de ajustamento, estes campos de referência podem ser tratados com enfoque de rede planimétrica.

Para o caso do CGE, este campo de pontos de referência se encontra previsto na NBR14645-1:2001 item 5.3.1.1, onde se afirma que, em um levantamento topográfico planialtimétrico, deverá haver *“implantação de poligonal topográfica com seus vértices materializados em locais previamente selecionados, através de pinos metálicos e/ou piquetes de madeira resistente com um pequeno prego no topo”*. E que *“esta servirá de apoio à futura locação e controles de obras a serem edificadas”*. Recomenda-se ainda que no mínimo, dois vértices consecutivos sejam implantados fora do imóvel de interesse, em locais julgados seguros, e com isso fica evidenciada a necessidade de um campo de pontos de referência, no local da obra.

Hierarquicamente, assim em trabalhos de CGE os campos de pontos de referência são classificados em primário e secundário, e comporão respectivamente, um sistema primário ou secundário de referência como veremos a seguir.

a) O Campo de Pontos de Referência Primário

As fases progressivas dos trabalhos de posicionamento de uma edificação, ou seja, a locação da obra exige a necessidade de utilização de um sistema de referência primário, que é realizado através de uma rede ou um campo de pontos de referência primário, distribuído ao redor da obra, e que deve ser conectado a um sistema geodésico oficial. Esta rede primária ou campo de pontos primário deve, portanto, ser medida, calculada e ajustada, formando sempre uma configuração poligonal em anel (ou fechada). Os pontos adicionais de referência primários podem ser levantados por métodos de intersecção, irradiação polar ou por qualquer outro método semelhante, constituindo um sistema de referência primário ou rede de locação da obra.

A precisão dos pontos deste sistema primário é afetada pela exatidão apresentada pelo sistema oficial. A este respeito conforme recomenda a ISO 4463-1:1989 a conexão ao sistema oficial, deve ser realizada através de um só ponto e uma só direção, evitando-se, assim, que injunções de outros pontos prejudiquem a rede primária implantada. A execução do levantamento topográfico para quaisquer

de suas finalidades deverá ainda atender o que prescreve a NBR13133: 1994 no item 5.3 onde se estabelece que: *“Na hipótese do apoio topográfico planimétrico vincular-se à rede geodésica (SGB), a situação ideal é que, pelo menos, dois pontos de coordenadas conhecidas sejam comuns”*.

A rede, ou poligonal anel assim obtida deve ser ajustada pelo conhecido Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), para garantir uma homogeneidade das medições realizadas. Sobre o tema, o leitor pode encontrar inúmeros trabalhos de autores consagrados, como GEMAEL (1994), KAHMEN e FAIG (1988) e WOLF e GHILANI (1997), etc.

O campo de pontos de referência primário deve assim ser devidamente escolhido, de modo a garantir estabilidade durante a fase de realização das medições. A rede ou poligonal deve ser implantada segundo as normas técnicas vigentes, com critérios de aceitação para o posicionamento de pontos primários e devem ser previstas as consequências ao desacordo com a tolerância estipulada pelas normas brasileiras.

b) O Campo de Pontos de Referência Secundário

O sistema secundário de locação da obra ou sistema de referência da obra serve como sistema de referência ou grade de eixos para a ereção de um edifício particular, ou grupo de edifícios e trabalhos associados.

Neste caso, as coordenadas dos pontos referenciados ao sistema de referência primário são aceitas como verdadeiras, e suas inexatidões não precisam ser levadas em consideração. Partindo-se do campo de pontos primário de referência, caso se façam necessários, pontos secundários são implantados para o posicionamento e locação da obra que representam detalhes de uma ou mais edificações. A este respeito, entende-se que, assim como no campo de referência primário, devem ser estabelecidos neste trabalho os critérios de aceitação para o posicionamento de pontos secundários, e consequências do desacordo, com a tolerância especificada nas normas nacionais para execução de levantamentos topográficos, recentemente elaboradas.

Neste trabalho, ao preconizar para os trabalhos de posicionamento da obra um campo de pontos de referência secundário, deve-se considerar sua finalidade

básica e dimensões da área levantada, enquadrando-o em uma das classes de levantamento topográfico planimétrico ou levantamento planialtimétrico, constantes da Tabela 5 e 6 da norma NBR13133: 1994. Assim, neste campo de pontos de referência secundário, o tratamento das observações deve obedecer aos mesmos critérios especificados para a rede de referência primária.

3.2.2 Campo de Pontos-Objeto ou de Posição

O conceito empregado neste trabalho deve entender como um campo de pontos-objeto ou de posição, o espaço cartesiano, agregado aos aspectos físicos de sua materialização e aos aspectos estocásticos das realizações das variáveis aleatórias, envolvidas no processo de sua definição (CARVALHO 2003).

Um campo de pontos-objeto é, portanto, um conjunto de pontos que são levantados no terreno, e utilizados para a representação de todos os detalhes necessários a serem representados. Os objetos levantados, tais como prédios, postes, árvores têm suas coordenadas referenciadas ao sistema definido pelo campo de pontos de referência primário ou secundário, caso este seja necessário. Na fase de posicionamento da obra, os pontos deste campo-objeto são também aqueles destinados à marcação na obra de elementos individuais, por exemplo, pilares, cintas e paredes. E assim devem ser especificados neste trabalho critérios de aceite para os pontos de posição, e estudada a propagação de erro nestes pontos levantados a partir do campo de pontos primário e/ou secundário. Neste caso, sendo as coordenadas dos pontos dos sistemas de referência primário e secundário aceitas como verdadeiras, com suas inexatidões não tomadas em conta (ver item 3.5 e 3.6).

3.3 Instrumentos e Métodos Geodésicos para Racionalização Construtiva

3.3.1 Instrumentos Geodésicos

As operações e trabalhos de campo para o posicionamento preciso da obra são realizados em duas etapas, o levantamento e a locação ou posicionamento de pontos. Estes trabalhos nos tempos atuais foram muito influenciados no que concerne ao processo de automação topográfica.

CINTRA (1993) afirma que *“a topografia vem sofrendo acentuadas transformações nos últimos 20 anos, em função de novos equipamentos de campo que incorporam tecnologias eletrônicas”*.

Entre os equipamentos modernos salientam-se os denominados medidores eletrônicos de distâncias (MED) e as estações totais. A este respeito nos parece interessante a afirmação de BARROS (2001) que explica ser a estação total *“o instrumento que permite medir ângulos e distâncias, integrando em um só aparelho, um teodolito eletrônico e um medidor eletrônico de distância”*.

Os equipamentos topográficos eletrônicos usados no posicionamento preciso da obra constituem o distanciômetro eletrônico, a estação total, níveis e receptores GPS.

Estes equipamentos nos dias atuais permitem também o uso de outras funções que auxiliam os trabalhos de campo, como a gravação e armazenamento de dados observados, e ainda auxiliam no cálculo e verificação dos dados.

A NBR13133: 1994 no item 4.1.1 classifica estes equipamentos topográficos usados no levantamento preciso, segundo o desvio-padrão de uma direção observada em duas posições da luneta, em classes de precisão baixa, média e alta. Já os níveis vão desde estas classes, até a classe de precisão muito alta, segundo as tabelas 1, 2 e 3 da NBR13133:1994.

Os níveis foram também equipamentos que tiveram profunda mudança de tecnologia. Embora ainda muito encontrados em obras, os níveis ótico-mecânicos tendem a ser substituídos, em longo prazo, pelos níveis eletrônicos. BRANDALIZE (2003) a respeito destes instrumentos afirma que *“nível eletrônico é um aparelho de medição eletrônica e registro de distâncias horizontais e verticais ou diferenças de nível com funcionamento baseado no processo digital de leitura, ou seja, num sistema eletrônico de varredura e interpretação de padrões codificados numa régua graduada cujas divisões estão impressas em código de barras”*. Os trabalhos topográficos para o posicionamento altimétrico, no entanto devem, continuar adotando, em nossa região, em face do baixo custo os “tradicionais” níveis de luneta ou de engenheiro .

A régua pode ser de alumínio, invar ou fibra de vidro e os dados podem ser armazenados internamente, permitindo posterior transferência para microcomputa-

dor. O equipamento utilizado, da marca *Wild* por exemplo possui precisão nominal de 1,5 mm para 1 km de nivelamento com uso de miras de alumínio.

3.3.2 Os Métodos Geodésicos Usados no Posicionamento

a) Método Polar Tradicional

No que tange aos denominados métodos clássicos de posicionamento, para uso na obra, assume fundamental importância o processamento dos trabalhos através do método polar que, segundo KAHMEN et FAIG (1988), “*é aquele baseado nas medições de direções a partir de uma direção fixada mais distância da estação até o ponto-objeto*”. Os ângulos medidos através da estação total ou teodolito, estacionado em cada vértice da poligonal do sistema de referência (3.2.1) e orientado pela visada a ré, e as distâncias, fazendo uso dos medidores eletrônicos ou a trena. A figura 11 ilustra o método de posicionamento polar.

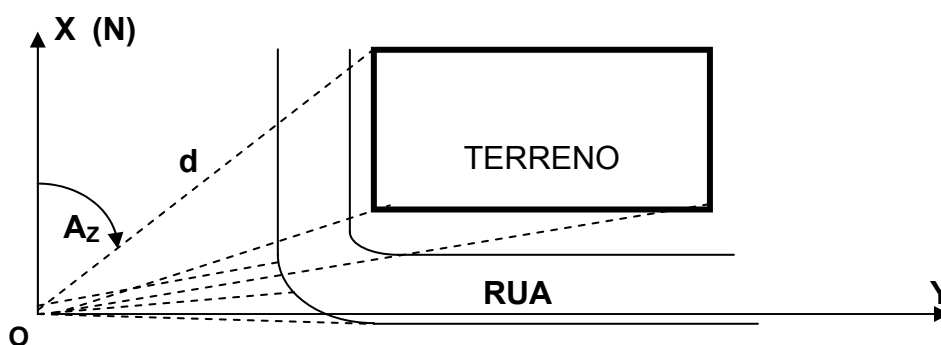


Figura 11: Método de Posicionamento Polar.

No método polar, a partir de uma estação O com coordenadas conhecidas, faz-se irradiações, medindo-se os ângulos entre as direções aos pontos-objeto e a de um alvo com azimute conhecido; bem como as distâncias da estação até esses pontos-objeto. Suas coordenadas são obtidas com as seguintes equações:

$$Y_i = Y_o + d \cdot \sin(A_z) \quad (01)$$

$$X_i = X_o + d \cdot \cos(A_z) \quad (02)$$

As poligonais em serviços topográficos constituem uma das técnicas mais usadas para transporte de coordenadas, apoio ao cadastro e projetos de engenharia de um modo geral. Segundo KAHMEN et FAIG (1988), elas podem ser de vários tipos, desde as fechadas ou amarradas até as poligonais em anel, que é um caso especial em que o início e o fim da poligonal são coincidentes. O controle dos erros de uma poligonal fechada ou em anel é feito pela análise do erro de fechamento angular e linear, sendo que o método mais usado no Brasil é o de Bawditch (SILVA et al 2003), o qual afirma que se o erro é tolerável, faz-se a compensação, também chamada correção, realizada da seguinte maneira: primeiro são compensados os erros angulares, distribuídos de maneira igual em todos os vértices, e depois é realizada a compensação dos erros lineares; desta feita, sendo distribuído proporcionalmente ao comprimento de cada lance.

No procedimento deste método deve ser aplicado o estudo da propagação de erros nas coordenadas obtidas a partir da irradiação polar da estação de referência para os pontos do campo-objeto ou pontos de posição conforme previsto no item 3.5. Estas estações de referência se constituem nos vértices da poligonal ajustada. Este procedimento permite a obtenção do desvio-padrão ou as incertezas posicionais dos pontos-objeto.

b) Método Ortogonal

No método ortogonal como mostra a figura 12, o ponto de interesse do levantamento (P_i) é projetado ortogonalmente sobre o alinhamento (C), entre dois pontos de coordenadas conhecidas (A e B). Um desses pontos de coordenadas conhecidas é tomado como origem (A) e são medidas duas distâncias: uma da origem à projeção ortogonal sobre o alinhamento (d_1); e outra do ponto de projeção ao ponto-objeto P_i de interesse (d_2). Sendo essas duas medidas ortogonais entre si, pode-se formar um triângulo retângulo, que através do Teorema de Pitágoras pode-se determinar a distância linear entre a origem e o ponto-objeto P_i de interesse (d_3).

Para se efetuar o enquadramento do ponto a ser medido com as linhas, emprega-se instrumentos munidos de prisma, chamados esquadros de prisma ou de reflexão (JORDAN 1981).

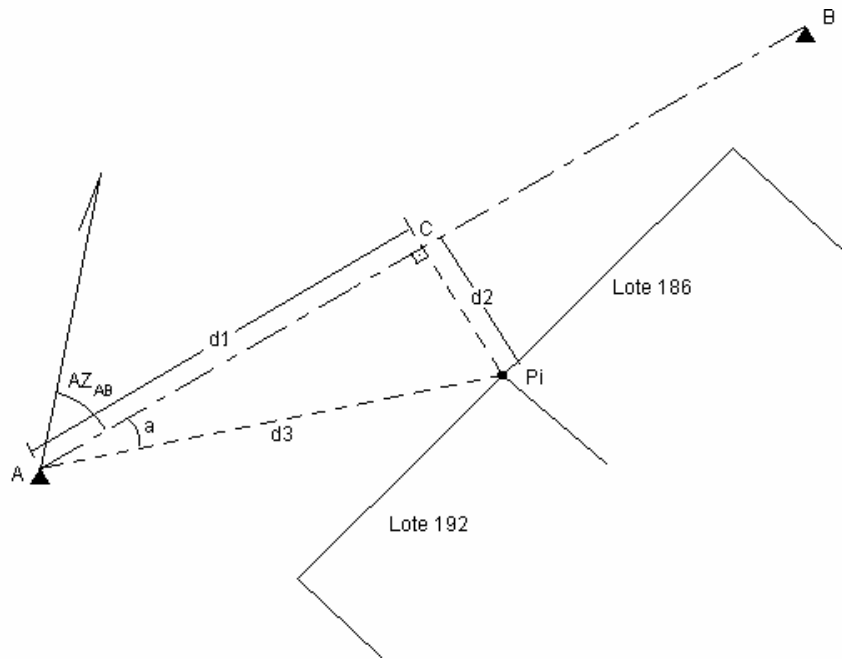


Figura 12: Elementos do Método Ortogonal.

O método ortogonal deve ser usado em levantamentos urbanos, onde se tem um grande número de pontos ao longo da linha de referência de medição, e seus resultados devem ser registrados em croquis de campo, durante as medições. No presente trabalho foi utilizado este método em estudo comparativo com o posicionamento polar, conforme descrito no item 5.1.5c.

c) Métodos Geodésicos de Posicionamento por GPS

O projeto NAVSTAR/GPS (NAVigation Satellite with Time And Ranging) ou GPS, implantado em 1973 (SEEBER 1993), tornou-se um dos mais modernos sistemas de posicionamento geodésico em uso em todo mundo. Com isso grande parte dos levantamentos passa a usufruir os benefícios advindos desta técnica de posicionamento, principalmente devido à rapidez, economia, precisão e independência das condições atmosféricas.

Atualmente o GPS conta com uma constelação de 24 satélites artificiais, cujas órbitas elípticas gravitam à ± 26.600 km do centro de massa da Terra, situada em um dos seus focos.

O posicionamento por tecnologia GPS pode ser *absoluto e relativo*. O posicionamento absoluto é também denominado posicionamento por ponto, cujas coordenadas estão referenciadas ao sistema de referência vinculado ao GPS, ou seja, o sistema WGS84 (MONICO 2000).

SANTOS (2001) descreve o posicionamento absoluto “*como aquele determinado sem auxílio de outras coordenadas, ou seja, com um único receptor*”. Este tipo de posicionamento absoluto é utilizado na navegação e em trabalhos de levantamento de pontos representados em escalas pequenas, na fase de estudo preliminar e reconhecimento, para elaboração de trabalhos em engenharia.

No posicionamento relativo, a posição de um ponto é calculada com relação a de outro ponto, cujas coordenadas são previamente conhecidas. As coordenadas do ponto conhecido devem estar referenciadas ao Sistema Geodésico WGS84, ou a um sistema geodésico local (p.ex o SAD-69).

O posicionamento GPS pode ser conduzido empregando-se o método estático ou por métodos rápidos. Segundo ROMÃO (2002), no procedimento estático “*os receptores permanecem estacionários durante todo o tempo de observação*”. Aqui os resultados obtidos são provenientes das medições seqüenciadas às épocas (tempo de registro das observações) durante um determinado espaço de tempo. Para a solução das ambigüidades de fase das portadoras é necessário realizar observações durante um longo período. A definição do tempo de observação vai depender, entre outros fatores, da distância entre os pontos (comprimento da linha de base), do número de satélites observáveis e da geometria da constelação. O método estático, oferecendo a precisão geodésica exigida para os diversos níveis de rede.

Nos métodos rápidos, como o estático rápido, o tempo de observação é de alguns minutos, já o stop and go, também chamado de semicinemático, o tempo de observação é de alguns segundos. Os métodos rápidos são muito utilizados em levantamentos conduzidos em pequenas áreas. A maior desvantagem dos métodos rápidos está no seu uso em áreas muito urbanizadas, dificultando assim, a recepção dos sinais dos satélites, por causa das obstruções provocadas pelas edificações altas.

d) Métodos no Campo de Pontos Altimétrico e Transferência Vertical de Eixos

Para se determinar a diferença de elevação entre os pontos dos campos usados para o posicionamento altimétrico, deve-se empregar o nivelamento geométrico

que segundo KAHMEN (1988) é *“o mais simples e mais acurado método para determinar diferenças de elevação”*. Outro aspecto considerado importante é que embora as normas técnicas em topografia, nacionais e estrangeiras preconizarem para trabalhos de precisão, somente o nivelamento geométrico, autores como FAGGION (2003) afirmam que: *“um dos métodos indiretos mais utilizados para determinação do desnível é o nivelamento trigonométrico, porém com o inconveniente medida da altura do instrumento e do refletor, tendo em vista que os dispositivos disponíveis (trenas) garantem apenas a precisão do centímetro”*.

Experimentos mais recentes realizados por aquele autor, permitem afirmar que se a estação total for colocada sobre uma das Referências de Nível, e instalada em qualquer posição que seja possível visualizar os dois refletores posicionados em ré e vante, será possível determinar o desnível entre os alvos sem considerar a altura do refletor (se os mesmos tiverem a mesma altura) e do instrumento, uma vez que a estação é mantida na mesma posição para determinar o desnível de ré e de vante.

Porém, segundo o mesmo autor, caso ainda se instale a estação total no centro do lance, será possível também minimizar os efeitos da curvatura da terra, refração atmosférica e das condições ambientais (temperatura, umidade e pressão atmosférica), uma vez que estes efeitos têm o mesmo comportamento para a visada de ré e de vante quando as diferenças das visadas não ultrapassam 3m.

Neste trabalho, onde se propõe a implantação de campos de pontos de referência assume importância a definição de como trabalhar o campo de pontos de referência altimétrico. A este respeito, vale acrescentar também o que afirma MOREIRA et SEGANTINE (2003) *“muitas empresas e profissionais usam o nivelamento trigonométrico com estação total em atividades que, para atender rigorosamente a NBR 13133:1994 deveria ser realizado por nivelamento geométrico”*.

Estes autores em trabalhos recentes compararam a precisão do nivelamento trigonométrico, usando estações totais de baixa e média precisão, com aquelas obtidas por nivelamento geométrico, e admitem a possibilidade de uso deste nivelamento. Os resultados obtidos mostram que o nivelamento trigonométrico (com visadas unilaterais e com estações totais de média precisão) permite obter resultados inferiores as tolerâncias estabelecidas pela norma NBR13133: 1994.

Vale ressaltar ainda que na realização do presente trabalho, fazendo uso dos métodos geodésicos de posicionamento altimétrico outra preocupação deve ser le-

vada em conta. Ela diz respeito à transferência vertical de eixos que, segundo BARROS (2001), é *“a transferência vertical que visa a materialização de pontos destes eixos que se definem como eixos situados em todos os outros níveis ou andares da edificação”*. Estes trabalhos devem realizar-se apenas com prumos óticos ou zenitais com precisão adequada, e com o conhecimento da propagação de erro existente, de modo a ter-se precisa transferência dos pontos definidores destes eixos.

3.3.3 A Integração GPS e Topografia nos Trabalhos do Posicionamento

Os trabalhos topográficos utilizados para realização do posicionamento abrangem geralmente pequenas áreas da superfície terrestre onde se tem um sistema de referência topográfico local (3.1.3), constituído conforme a NBR13133: 1994.

Outra questão importante, que deve ser levada em consideração no estabelecimento de campos de pontos de referência primário, diz respeito à integração entre as tecnologias de posicionamento polar topográfico (que se utiliza de equipamentos de medição de distâncias e ângulos) e as que utilizam o sistema de posicionamento global-GPS, em levantamentos (ou implantação) de redes ou campos de pontos (primários, secundários e posição) para fins de engenharia. No posicionamento polar, as coordenadas dos pontos estão referenciadas a um sistema de coordenadas bidimensionais no plano topográfico local (sistema topográfico local), enquanto que no posicionamento global (utilizando GPS) as coordenadas dos pontos estão referenciadas a um sistema geocêntrico global (WGS-84). A integração entre os dois sistemas deve passar por algumas etapas de transformação de coordenadas entre os sistemas de referência envolvidos, conforme visto no item 3.1.

A metodologia proposta neste trabalho inclui a integração das tecnologias de posicionamento global e polar segundo uma rede primária ou campo de pontos de referência primário, que deve ser ajustado pelo MMQ, garantindo assim qualidade e confiabilidade nas coordenadas dos pontos. Além disso, propõe também o georreferenciamento dos limites do terreno para atender a norma NBR 14166:1998 no que tange ao cadastro imobiliário.

Tradicionalmente, trabalhos dessa natureza utilizam o posicionamento polar clássico, cujas coordenadas são expressas em um sistema cartesiano ortogonal bi-

dimensional. Entretanto com o crescente uso da tecnologia GPS, as posições dos pontos que servirão de apoio às poligonais e base para o georreferenciamento, têm suas coordenadas em um sistema tridimensional que posteriormente são transformadas para coordenadas no sistema UTM (referenciadas ao datum SAD-69). Desta forma, há a necessidade de se proceder a uma transformação entre os dois tipos de sistemas, do topográfico local para UTM, ou vice-versa para os casos de posicionamento /locação da obra.

Têm-se o entendimento de que existem duas formas para se integrar estas tecnologias. A primeira delas, citada em VARGAS et SCHAAL (2002) apud PINTO explica que *“na integração GPS e topografia, o mais indicado seria transformar as coordenadas obtidas por GPS para o Sistema Topográfico Local (STL), conforme previsto na norma NBR14166: 1998”*.

Tal integração assume fundamentalmente um maior cuidado à medida que se amplia a extensão do campo de pontos, e assim as reduções angulares e, sobretudo lineares tornam-se imprescindíveis. No presente trabalho, onde se utiliza a aplicação de métodos geodésicos precisos na racionalização construtiva, esta questão assume importância, apenas nas coordenadas dos pontos limites do terreno do campo de pontos-objeto (3.2.2) caso se considere visadas longas.

A outra forma de integração entre os dois tipos de observações, é feita convertendo-se os resultados do processamento com GPS para os tipos de observações coletadas com a estação total. Neste caso, em lugar de se trabalhar com as coordenadas, usam-se os ângulos e distâncias onde devem ser realizadas as reduções angulares e lineares quando do tratamento das observações de campo. O tratamento dessas observações de campo é encontrado nos compêndios clássicos de geodésia ou em dissertações e trabalhos como HARA (1994) e CAMARGO et MONICO (1998). Da mesma maneira devem ser feitos para os ângulos medidos, os quais devem ser transformados levando em consideração os cálculos da convergência meridiana e da redução angular.

Assim, quando se desenvolve o cálculo no sistema de projeção UTM, as observações devem ser reduzidas a esta superfície retificável. Em outra opção, transforma-se as coordenadas UTM para o Sistema Topográfico Local (STL), corrige-se a observação da refração e reduz-se ao horizonte.

Neste trabalho, onde foram realizados experimentos em duas localidades, integrando o posicionamento polar e GPS, em campos de pontos de referência primários (3.2.1) e pontos de posição ou limites, foram utilizados os sistemas de referência e de projeção topográficos nos trabalhos para o posicionamento da obra; e o sistema geodésico, com representação cartográfica UTM, na definição dos dois pontos da base e no georreferenciamento dos pontos limites do terreno.

3.4 Normas Técnicas e Especificações

As normas técnicas e especificações para realização do presente trabalho, compreendem desde as relacionadas aos trabalhos topográficos para o controle dimensional, até aquelas relativas ao georreferenciamento dos imóveis à rede de referência cadastral municipal. A pesquisa bibliográfica realizada permite enquadrar estas normas e especificações, como abaixo descrito:

- a) normas nacionais e estrangeiras relacionadas aos trabalhos de topografia;
- b) normas relacionadas aos levantamentos por receptores GPS.

No Brasil, as normas vigentes relacionadas à topografia, são: a NBR 13133 – Execução de Levantamento Topográfico (ABNT, 1994) e a NBR 14645-1– Elaboração do como construído “*as built*” para edificações (ABNT, 2001).

Relacionada ao cadastro imobiliário temos a NBR 14166- Rede de Referência Cadastral (ABNT, 1998). Além disso, encontra-se em elaboração as partes 2 e 3 da NBR14645, que tratam das questões do registro público e locação topográfica e controle dimensional da obra.

No que tange a levantamentos geodésicos por tecnologia GPS, serão abordadas de forma resumida as especificações do IBGE.

3.4.1 A Norma NBR13133: 1994: Execução de Levantamento Topográfico

Esta norma, embora não trate diretamente da questão relativa ao controle dimensional ou trabalhos de locação topográfica, abrange, conforme seus objetivos específicos, as condições exigíveis para a execução topográfica destinada a obter:

- a) conhecimento geral do terreno: relevo, limites, confrontantes, área, localização, amarração e posicionamento;
- b) informações sobre o terreno destinado a estudos preliminares de projetos;
- c) informações sobre o terreno destinado a anteprojetos ou projetos básicos;
- d) informações sobre o terreno destinado a projetos executivos.

No entanto, como afirma BARROS (2001) nesta norma, “*os trabalhos topográficos envolvidos em locação com vistas ao controle dimensional não constituem enfoque em separado, com fundamentos teóricos e aplicação específica a este controle*”, mas podem ser vistos apenas como uma aplicação de métodos com adoção de instrumentos da topografia.

Entretanto apesar do exposto acima, a implantação desta pioneira norma para trabalhos topográficos, constituiu-se em um marco de partida no controle de qualidade para a realização de trabalhos topográficos, servindo de referência a todas as normas técnicas e especificações elaboradas por entidades públicas e privadas, envolvidas em topografia para a engenharia e para os levantamentos cadastrais (CARNEIRO2000).

3.4.2 A Norma NBR14645: 2001:Elaboração do Como Construído “*as built*”

Elaborada em 2001, sob o título Elaboração do “como construído” *as built*, e prevista para possuir 3 (três) partes, está diretamente relacionada aos trabalhos de controle geométrico de edificações e locação topográfica. A primeira parte, atualmente em vigor, tem por objetivo fixar as condições exigíveis para a execução de levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral para imóvel urbanizado com área até 25000m², para fins de estudos, projetos e edificação, com o objetivo de: obter conhecimento do terreno quanto ao seu relevo, limites, confrontações, área, localização, amarração e posicionamento e possibilitar a implantação e a realização das diversas etapas de controle dimensional das obras de edificação desde o terraplenagem, fundação, estrutura, instalações até o “como construído” (*as built*).

As demais partes em elaboração tratam do registro público do imóvel (parte 2) e do controle dimensional de obras (parte 3). A importância destas partes comple-

mentares constituirá referência obrigatória aos trabalhos para controle geométrico de edificações prediais.

A respeito de normas topográficas, no entanto, convém acrescentar que ainda existe uma norma estrangeira elaborada pela International Organization for Standardization (ISO) , denominada ISO 4463-1, referente à Mensuração e Locação de Edificações. Na versão de março de 1989, são explicitados seus dois objetivos básicos:

a) posicionamento da edificação, ou seja, a sua locação conforme determinada em seu projeto; e

b) mensuração das partes integrantes de uma edificação, já construída, para a elaboração do “as built”.

Esta norma ISO– 4463–1: *Measurement methods for building – setting-out and measurement* (ISO 1989) têm caráter mais específico e voltada para o controle geométrico de edificações, pois a mesma trata desde o planejamento, organização da locação até as condições de aceitação e rejeição dos trabalhos, passando pela escolha de equipamentos e procedimentos para medida de ângulos, distâncias e nivelamento. Esta norma é considerada uma evolução significativa com relação à normalização nacional existente e, deve-se, portanto, recomendar seu estudo quando da realização do controle geométrico de edificações.

3.4.3 A Norma 14.166:1998: Rede de Referência Cadastral Municipal

Esta norma tem como objetivos, entre outros não menos importantes, o de conectar todos serviços topográficos de: demarcação, anteprojetos, projetos, de implantação e acompanhamento de obras de engenharia em geral, de levantamentos de obras e de cadastros imobiliários para registros públicos e multifinalitários; e ainda unir os serviços de topografia, visando a incorporação das plantas deles decorrentes às plantas de referência cadastral do município proposta a qual se incorporam estas recomendações contidas no presente trabalho.

Segundo esta norma, em uma rede de referência cadastral, *as condições exigíveis para a sua implantação são contabilizadas nos procedimentos a fim de estabelecer uma infra-estrutura de apoio geodésico e topográfico que ofereça a normalização e sistematização dos levantamentos topográficos, tanto pelo método direto*

(clássico) ou pelo método aerofotogramétrico, como também por qualquer outro que venha a ser criado, feitos em qualquer escala e para qualquer finalidade no campo de ação municipal, público ou privado, no objetivo de sua inclusão em um mesmo sistema, de sua atualização e sua complementação.

Outrossim, vale ressaltar que as normas brasileiras relacionadas às redes de referências cadastrais, ou às redes oficiais, estabelecem o sistema de amarração de levantamentos a um **sistema único** de coordenadas. E assim ao fixar as condições exigíveis, para a sua implantação em áreas urbanas e rurais do município, permitem a adoção de sistemas de coordenadas que vão desde o Sistema Topográfico Local até o Sistema de Projeção UTM, comentados no item 3.1.3.

HASENACK (2000) ao comentar a norma NBR14166: 1998, sobre o escalonamento hierárquico dos elementos da rede de referência cadastral, o considera de interpretação confusa, sobretudo aquele constante do item 5.13 desta norma sobre o qual afirma ser de “*difícil entendimento*”. O autor considera como uma alternativa a esta questão a proposta de ROMÃO et al (1996), que propõe um escalonamento hierárquico simplificado, indo desde as Redes Nacionais, Estaduais e Municipais até uma Rede de levantamentos e pontos limite de propriedades, e que parece o mais adequado à metodologia proposta neste trabalho.

Mais recentemente na NBR 14645-1:2000, se incluiu também este tema no item 6 (seis)-Requisitos específicos que os levantamentos topográficos “*ficam condicionados às eventuais exigências de alguns municípios quanto á amarração planimétrica ou planialtimétrica dos serviços a redes oficiais, nesses casos ,devendo ser consideradas as especificações próprias do município em questão, para os transportes de coordenadas e de referência de nível*”.

3.4.4 Especificações e Resolução PR-22 do IBGE

Elaborada pelo IBGE, destina-se a regularizar execução de levantamentos Geodésicos em território brasileiro, estabelecendo tolerâncias e critérios segundo os quais estes devem ser conduzidos, de maneira a serem aceitos, como uma contribuição ao Sistema Geodésico Brasileiro. As especificações e normas gerais do IBGE por representar as diretrizes que pautam a execução dos levantamentos geodésicos,

recomendam a sua adoção para todo e qualquer tipo deste levantamento no país. Embora tratem dos levantamentos topográficos pelo método clássico e, portanto passível de serem considerados neste trabalho, constitui apenas referência para trabalhos com métodos topográficos e geodésicos, no controle dimensional de edificações.

Vale acrescentar, no entanto, que nas citadas especificações os levantamentos para o controle de obras de engenharia enquadram-se em “de 4ª ordem” ou para fins topográficos.

3.4.5 Especificações Preliminares GPS do IBGE

O IBGE elaborou as especificações e normas gerais para levantamentos GPS (normas preliminares) em dezembro de 1992. Estas especificações descrevem todo o sistema GPS, inclui conceitos sobre códigos, portadoras, tipos de observação, técnicas de posicionamento e tabela as técnicas com relação às observações, aplicações e precisão, geometria da rede, observações de campo e processamento.

Nestas normas do IBGE o que se percebe, no entanto é uma falta de atualização, devido aos novos algoritmos de processamento para resolução de ambigüidades e maior confiabilidade dos métodos rápidos e cinemáticos. Também deveriam ser incorporadas explicações sobre ajustamento pelos mínimos quadrados, e análise dos resultados em precisão e exatidão (SILVA et al 2003).

E assim no presente trabalho se apresentam adicionalmente as especificações estrangeiras, sobretudo as do Federal Geodetic Control Comitê - FGCC. Estas especificações, mostradas no quadro 2, apresentam as categorias de levantamento com os padrões de exatidão geométrica mínima.

Segundo STREIFF (1999) *“as coordenadas da estação de referência devem ser muito bem determinadas. E essa determinação deve ser feita da forma mais rigorosa possível, tomando-se cuidados como, a localização do vértice, o tempo de rastreamento, a geometria dos satélites, um mínimo de dois vetores para a determinação de coordenadas do vértice, o programa utilizado para o processamento e ajustamento dos dados e as perdas de ciclo”*.

Quadro 2: Normas de exatidão no posicionamento relativo. Fonte: Streiff 1999.

CATEGORIAS DE LEVANTAMENTOS	Ordem	Padrão de Exatidão Geométrica Mínima (95% de nível de confiança)		
		Erro Base	Erro dependente do comprimento da linha de base	
		E (cm)	p (ppm)	a (1:a)
Geodinâmica global e Regional; medição de Deformações.	AA	0,3	0,01	1 : 100.000.000
Sistema geodésico, redes Primárias; geodinâmica Regional e local; medição de deformações.	A	0,5	0,1	1 : 10.000.000
Sistema geodésico, redes Secundárias; geodinâmica local; conexões a rede Primária; medição de deformações; levantamento de alta exatidão para engenharia.	B	0,8	1	1 : 1.000.000
Sistema geodésico, Levantamentos por geodésia terrestre, apoio para mapeamento; registro público imobiliário; Informações sobre uso da terra; necessidades diversas no âmbito da engenharia.	C1	1.0	10	1 : 100.000
	C2-I	2.0	20	1 : 50.000
	C2-II	3.0	50	1 : 20.000
	C3	5.0	100	1 : 10.000

No caso do georreferenciamento proposto para realização neste trabalho feito junto com o posicionamento da obra, estes levantamentos enquadram-se na categoria C1, ou seja equivalente ao nível fundamental constante nas especificações preliminares GPS do IBGE.

3.5 A Lei de Propagação dos Erros

Os métodos topográficos e/ou geodésicos, utilizados para levantamento e para posicionamento da obra, envolvem basicamente posicionamento polar clássico, na maioria das vezes integrado ao GPS (3.3.3). Nestes trabalhos, os erros envolvidos na medição têm sua tradicional classificação em erros grosseiros ou enganos, erros sistemáticos e erros acidentais ou randômicos.

Os erros grosseiros devem ser detectados e eliminados antes do tratamento dos erros sistemáticos, e são bastante comuns nos trabalhos de medição para o posicionamento preciso.

Os erros sistemáticos, produzidos por causas conhecidas podem ser evitados através de técnicas especiais de observação ou eliminados a posteriori mediante fórmulas fornecidas pela teoria. E assim estes tipos de erros, decorrentes de influências das condições instrumentais, devem ser corrigidos através de modelos matemáticos estabelecidos (GEMAEL 1994).

Na NBR13133: 1994 (3.4.1) ao se tratar dos erros na topografia, no seu item inicial prescreve que: *as condições exigíveis para estas medidas devem permitir a seleção de métodos, processos e instrumentos para a obtenção de resultados compatíveis com a destinação do levantamento, assegurando que a **propagação de erros** não exceda os limites de segurança inerentes a destinação destas medidas para os levantamentos.*

Deve ser destacado ainda o que afirma KAHMEN et FAIG (1988) “o engenheiro civil aguarda do engenheiro de levantamentos confiança nos dados numéricos, os quais devem ser diretamente usados em considerações adicionais do projeto”. Estes profissionais tem, portanto que determinar, com auxílio da teoria da matemática e da estatística, quais as acurácias de medição são apropriadas para uma dada fase de construção.

E também se verifica a afirmação de KAHMEN et FAIG (1988): “*acurácia e tolerância estão presentemente sendo investigadas por vários organismos internacionais e os valores iniciais para alguns estudos são obviamente as tolerâncias aceitáveis para o engenheiro civil*”. E assim, assume enorme importância a sua utilização, nos trabalhos de posicionamento preciso, para o controle dimensional de edificações.

A propagação de erros no levantamento polar, dos pontos da rede poligonal em anel (traverse survey), sendo assim definida a partir de um modelo matemático que relacione as variáveis relacionadas, a saber, à distância e o azimuth dos alinhamentos. Neste caso embora as medições de distâncias e azimuths sejam independentes, conforme KAHMEN et FAIG (1988) *a latitude e longitude de cada linha são calculadas função da distância e azimuth, sendo assim não independentes.*

A determinação dos erros nas quantidades calculadas ou determinadas, em função dos erros nas quantidades observadas, é denominada Propagação dos Erros e o seu estudo constitui a melhor forma de se determinar o grau de incerteza nas medidas realizadas. Este procedimento aplicado aos levantamentos topográficos e

geodésicos para o posicionamento preciso, permite a otimização dos mesmos, e apenas assim pode-se projetar um levantamento geodésico com resultados de qualidade. DALMOLIN (2002) afirma que *“esta pré-análise visa definir especificações ótimas, necessárias e suficientes para o levantamento, de modo a produzir parâmetros com a qualidade mínima desejada e, portanto desenvolvida antes da realização das observações”*.

O estudo de erros propagados pelas variâncias das observações no posicionamento polar, sendo obtidas das especificações e calibrações dos instrumentos fornecidas pelos fabricantes, permitem quantificar a grandeza dos erros ou incerteza nas medições. A sequência das etapas, na determinação dos erros aplicando-se a teoria de propagação dos erros, compreende:

- a) estabelecer um modelo matemático com as variáveis relacionadas;
- b) definir a precisão para os métodos e equipamentos (σ);
- c) linearizar o modelo e obter as derivadas parciais das funções do modelo matemático;
- d) obter a expressão final para determinação do erro propagado.

Se as grandezas não forem medidas diretamente, mas derivadas de outras com desvios casuais obtidos a partir destas grandezas medidas, deve-se observar como as variâncias dos dados de saída se “propagam” sobre os valores medidos, ou seja, deve-se aplicar a lei de propagação dos erros.

3.6 Análise da Propagação de Erro nos Pontos de Posição

A propagação de erros, no levantamento polar (figura 13), a partir dos pontos do campo ou rede de referência primário (anelar e ajustada), é definida por um modelo matemático que relacione coordenadas da estação P(X , Y) , com as quantidades medidas a distância inclinada do terreno d_i ou a horizontal d_h , o ângulo azimutal α e o vertical β e as coordenadas conhecidas dos pontos de referência E (X_0 , Y_0) .

O modelo matemático pode ser expresso:

$$X = X_0 + d_i \cos \beta \sin \alpha \quad (03)$$

$$Y = Y_0 + d_i \cos \beta \cos \alpha \quad (04)$$

Conforme PARMA (2002) se considerarmos no modelo que σ_p é o desvio padrão do ponto levantado ($\sigma_p^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$), σ_e é o desvio padrão do ponto de referência, σ_d é o desvio padrão da medida linear e σ_a é o desvio padrão das medidas angulares (desvio padrão angular horizontal igual ao vertical) com as devidas simplificações, ao se aplicar à expressão da propagação de erros tem-se que:

$$\sigma_p^2 = 2\sigma_e^2 + \sigma_d^2 \cos^2 \beta + \sigma_a^2 d^2 \quad (05)$$

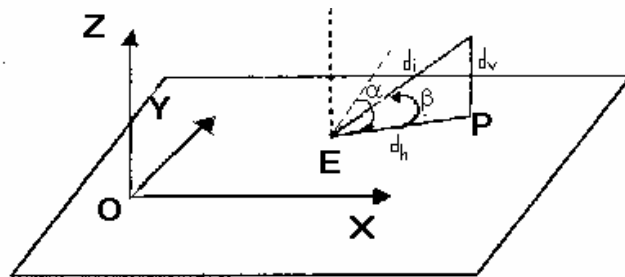


Figura 13: Sistema de Coordenadas.

Fonte: Adaptada de Parma 2002.

É interessante ainda se observar que o valor de α (ângulo azimutal) não participa da expressão (05).

3.7 O Ajustamento das Observações no Posicionamento Preciso

No sentido mais geral realizar ajustamento ou aplicação do método dos mínimos quadrados em observações redundantes, é estimar a variável estocástica X e seus parâmetros de distribuição Σx , a partir de amostras L observadas com precisão Σl (DALMOLIN 2002). A partir de uma multiplicidade de observações realizadas, no posicionamento, tem este tratamento matemático de dados, ou ajustamento, sido usado desde C.F.GAUSS (1777-1855), e sempre presente para obter o valor mais apropriado, as estimativas de precisão e sua correlação em observações repetidas.

Nos trabalhos para o posicionamento preciso, onde se implantam campos de pontos de referência primário e secundário (3.2.1) e campo de pontos-objeto de posição ou de limites (3.2.2) sendo portanto observadas amostras em posicionamento

polar clássico e GPS, existe a necessidade de fazer o ajustamento dessas observações em poligonais ou redes.

Embora se soubesse ser este o melhor caminho para tratamento de dados, em tempos atrás o mesmo, devido o enorme volume de cálculos não era muito utilizado. Porém face o avanço da tecnologia computacional, fazer atualmente estes cálculos, se tornou uma operação ligeira, sendo fácil o uso do método dos mínimos quadrados em cálculos geodésicos.

3.7.1 O Tratamento dos Dados nas Poligonais Segundo a NR13133:1994

De acordo com a NBR13133: 1994, as poligonais podem ser enquadradas em três tipos. Neste caso, sendo o sistema ou campo de referência primário proposto neste trabalho uma poligonal de forma fechada anelar, sendo considerada segundo a norma em **poligonal tipo 1**: apoiada e fechada numa só direção e num só ponto.

O recebimento desta poligonal e sua aceitação ou rejeição deve ser realizada segundo roteiro de cálculos mostrado abaixo:

Dados do trabalho:

Poligonal Classe (I, II, III P ou IVP), tipo 1 e Estação total classe (1, 2 e 3).

1. Expressões e valores das tolerâncias de fechamento

1.1. Cálculo de fechamento angular;

1.2. Cálculo de fechamento linear (após a compensação angular);

1.3. Cálculo de erro relativo (máximo aceitável no fechamento linear, após a compensação angular);

1.4. erro médio relativo (máximo aceitável, entre duas estações consecutivas, após o ajustamento);

1.5. erro médio em azimuth;

1.6. erro médio em coordenadas (de posição, máximo aceitável).

Para os cálculos das expressões acima devem ser obtidos os seguintes valores na NBR13133: 1994:

n = nº de vértices, $L(m)$ = comprimento da poligonal m ; $a = "$ " (*) ; $b = "$ " (**)

$c = \sqrt{m^2 + d^2}$ (*) e $d = \sqrt{m^2 - c^2}$ (**) e D_{med} = lado médio da poligonal em m.

(*) Tabela 10 da NBR - 13.133 (**) Tabela 11 da NBR - 13.133.

3.7.2 Ajustamento da Poligonal no Campo de Pontos de Referência Primário

Além dos cálculos tradicionais, expostos no item anterior, exige-se a aplicação de ajustamento das poligonais implantadas. Conforme a nota b, do item 6.5.5 da NBR - 13.133, o erro relativo de fechamento linear (Elr), após a compensação angular, não define a exatidão da poligonal, sendo necessário apenas para o julgamento das operações de campo, controlando a precisão interna da poligonal, como um indicador da divergência linear relativa no sistema de coordenadas cartesianas, x e y.

Neste trabalho o ajustamento feito pelo M.M.Q para a poligonal ou rede implantada, garante uma melhor qualidade dessas observações se constituindo de forte indicador da melhora em sua precisão. Após o ajuste da poligonal é que devemos fazer as comparações usando as expressões conforme item 6.5.6 e 6.5.8 da NBR - 13.133:1994. No que se refere ao ajustamento de poligonais vale acrescentar que segundo WOLF et GHILANI (1997) uma poligonal fechada, de n vértices, tem 2(n-1) coordenadas desconhecidas com 2n+1 medições e, portanto o número de graus de liberdade é $2n+1 - 2(n-1) = 3$. E ainda segundo KAHMEN et FAIG (1988) os efeitos da incerteza de medição em traverse são difíceis de prever, porque muitos diferentes elementos de medição são usados com somente três observações de redundância.

4. A METODOLOGIA PROPOSTA PARA RC NO POSICIONAMENTO PRECISO DE EDIFICAÇÕES PREDIAIS

Neste capítulo elabora-se uma metodologia com o emprego de técnicas geodésicas e topográficas, para a racionalização construtiva (RC). A mesma abrange as etapas de levantamento do terreno e posicionamento de obra, e contribui ainda ao georreferenciamento no SGB, visando a atualização das plantas cadastrais.

4.1 Etapas para a Racionalização Construtiva a partir do CGE

A proposta de uma metodologia para o posicionamento preciso da obra exposta de forma seqüenciada consubstancia -se no desenvolvimento das etapas a seguir descritas e utiliza como pressupostos os procedimentos geodésicos ou topográficos abaixo:

a) utilização de equipamentos geodésicos e topográficos calibrados, segundo as normas técnicas (NBR13133: 1994) e especificações de metrologia vigentes comentados no item 3.1.4;

b) estabelecimento de um campo de pontos de referência primário, com posterior georreferenciamento (ao SGB), utilizando o posicionamento GPS em no mínimo dois pontos deste campo (base de apoio);

c) execução de levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral, do terreno e detalhes existentes no imóvel, a partir de um campo de pontos de referência, utilizando um sistema de coordenadas topográficas locais;

d) estabelecimento de um campo de pontos de referência secundário (se necessário) para os trabalhos topográficos de posicionamento da obra; e medição de pontos-objeto ou de posição (pontos-limite do terreno);

e) realização dos cálculos das poligonais fechadas e apoiadas nos pontos da base (obtida por GPS), compatibilizando sistemas de referência e projeção;

f) uso das tolerâncias segundo as normas técnicas nacionais e utilização de ajustamento das observações, conforme a NBR13133: 1994, com análise de propagação dos erros nos campos de pontos levantados;

g) utilização do método de nivelamento geométrico, segundo o prescrito na NBR13133: 1994 durante a implantação do campo de pontos altimétrico;

h) utilização de transformação de coordenadas (por similaridade) a partir da base, georreferenciado ao SGB, para converter nestes campos de pontos as coordenadas topográficas locais em coordenadas UTM, para uso nas plantas topográficas cadastrais;

Para o método proposto devem ainda ser analisadas as técnicas de levantamento usadas no campo de pontos de referência e objeto, instrumentos utilizados e enquadramento nas normas técnicas topográficas nacionais e internacionais.

O georreferenciamento ao SGB com tecnologia GPS, deve atender estas normas, bem como se basear em algumas especificações do Federal Geodetic Control Comitê (FGCC), com os padrões de exatidão geométrica mínima de acordo com STREIFF (1999), por serem as especificações brasileiras ainda preliminares (IBGE 1998).

Vale acrescentar, no entanto que todos os trabalhos realizados para o CGE são conduzidos no plano topográfico local e, portanto, com suas coordenadas topográficas locais. O sistema de projeção UTM é adotado para o georreferenciamento da obra e posteriormente para atualização das plantas cadastrais. Para uma representação confiável e que possa contribuir ao georreferenciamento no posicionamento preciso da obra, necessita-se, portanto de transformações de coordenadas entre os dois sistemas. Deve-se então converter as coordenadas topográficas locais em coordenadas planas UTM.

Em resumo podemos dizer que a metodologia descrita terá duas destinações, a primeira direcionada exclusivamente para os trabalhos de levantamento e posicionamento na obra, adotando-se assim o sistema topográfico local; e a segunda direcionada ao georreferenciamento (ao SGB) de pontos limites do terreno.

4.2 Estabelecimento do Sistema de Referência Primário e Georreferenciamento de Limites de Propriedade

Conforme exposto anteriormente (3.2.1), será estabelecido campo de pontos para o levantamento do terreno e posicionamento preciso da obra. No campo de pontos de referência primário, deve-se sempre fazer uso dos marcos referenciais da obra, que sejam os mais permanentes e estáveis possíveis. Estes pontos de referência, segundo o método aqui proposto, constituem a base de apoio, que segundo a NBR14645: 2001, parte1, na sua realização compreende “a descrição e um croqui com sua amarração em acidentes físicos bem definidos”.

Os trabalhos topográficos e geodésicos, no estabelecimento deste campo referencial de pontos compreendem, portanto:

a) posicionamento polar, através de uma poligonal topográfica fechada ou em anel, com n lados ($n \geq 3$), a partir de A e B, formando a rede primária implantada no terreno (por ex. pontos A, B, 1 e 2 da figura 14);

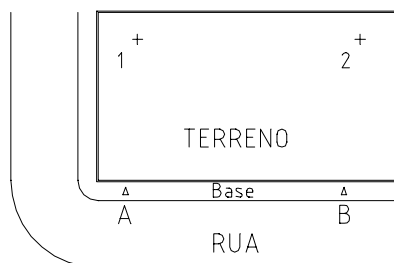


Figura 14: Sistema Primário e Croquis da Área de Estudo (marcos).

b) O cálculo das tolerâncias, compensação e ajustamento desta poligonal, apoiada e fechada em uma direção e em um só ponto, segundo a NBR13133: 1994 e/ou NBR14645: 2001;

A partir das coordenadas topográficas locais ajustadas dos pontos deste campo de referência, os pontos do campo de referência secundário (quando necessário) e pontos do campo objeto (limites do terreno) serão obtidos por posicionamento polar.

As observações devem se constituir em, pelo menos, uma série de leituras conjugadas para as medidas dos ângulos e distâncias. A caderneta de campo adotada com os dados das observações (ver anexo 2), deve permitir estas anotações em uma série de leituras conjugadas para as medidas dos ângulos e distâncias. Com os valores das coordenadas ajustadas, nas duas estações (A e B) da base de apoio a rede ou poligonal formada por estes pontos implantados no terreno (p.ex A, B, 1 e 2 da figura 14) poderá ser calculada e ajustada, pelo MMQ conforme prescrito na NBR13133: 1994.

No campo de pontos altimétrico deve-se usar o nivelamento geométrico, pois segundo as normas vigentes, devido a sua precisão, é o único dos métodos de nivelamento permitido para um posicionamento altimétrico preciso.

4.2.1 Estabelecimento do Sistema de Referência Primário

A poligonal topográfica no campo de pontos de referência primário e/ou secundário, deve se estruturar conforme prescreve a NBR14645: 2001, parte1, no item 4: *“Estruturação do levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral”* e assim observar a seqüência de operações, prevista nos itens a até h, descritas naquela norma de referência topográfica. Deve-se também elaborar monografias dos pontos de referência implantados fora do imóvel, compreendendo a sua descrição e croquis, com amarração em pontos bem definidos.

Um outro aspecto a ser analisado, diz respeito ao atendimento das técnicas de observações angulares e lineares, as quais devem ser realizadas conforme preconiza as normas técnicas no item 5.3.1.1 da NBR14645: 2001 parte1:

“As medidas angulares devem ser realizadas em observações recíprocas (vante e ré), através de uma série de leituras conjugadas direta e inversa, com teodolito classe 2 da NBR13133 e/ou estação total de média precisão, ou melhor”.

As observações lineares, podem ainda ser realizadas com estação total (classe2) ou trena metálica, devidamente aferida com os cuidados descritos anteriormente.

Vale acrescentar acerca deste assunto o que afirma MAIA (1999), que as observações lineares dos MED (estações totais) são fruto de uma série de observações e resultam, portanto, em uma média dessas observações. O mesmo ainda afirma que *“julga-se desnecessário a realização de medição adicional, sendo realizadas apenas aquelas referentes aos alinhamentos ré e vante dessa poligonal”*.

Um outro aspecto a ser considerado é o enquadramento da poligonal para levantamentos topográficos em classes, tendo, portanto a partir disto uma metodologia e desenvolvimento adequados.

Face ao exposto e considerando as finalidades deste trabalho, destinadas ao estabelecimento de campos de pontos, pode-se enquadrar as poligonais usadas no tipo classe I PAC, II PAC ou IVPA conforme as tabelas 5 e 6 da NBR13133: 1994. Este enquadramento segundo a nota b p.15 considera também as escalas de representação geralmente maiores que 1:1000.

A NBR13133: 1994 p.18, item 6.5 no que diz respeito ao cálculo e ajustamento dessa poligonal considera-as apenas como: *Poligonal Tipo 1, apoiada e fechada numa só direção e em um só ponto*.

A seguir apresentam-se, de maneira resumida, as expressões que permitem o cálculo das tolerâncias para o fechamento das poligonais topográficas, ou seja, a tolerância angular, linear após a compensação angular e o erro máximo fechamento linear aceitável após a compensação angular.

1) Tolerância angular:

$$T_{\alpha} \leq a + b\sqrt{N}$$

onde:

a - erro médio angular (azimute) da rede de apoio superior multiplicado por $\sqrt{2}$

b - coeficiente que expressa a tolerância para medição dos ângulos da poligonal; e

N - número de vértices da poligonal.

Para poligonal do Tipo 1, o coeficiente $a = 0''$ e $b = 15''$ (Classe IIP).

2) Tolerância linear, após a compensação angular:

$$T_p \leq c + d\sqrt{L(km)}$$

onde:

c - erro médio de posição para os pontos de apoio de ordem superior multiplicado por $\sqrt{2}$

d-coeficiente que expressa a tolerância para o fechamento linear em m / km de desenvolvimento da poligonal;

L-perímetro da poligonal em km.

Para poligonais do Tipo 1, o coeficiente c = 0 e d = 0,30 m (Classe IIP).

3) Erro relativo máximo aceitável, de fechamento linear, após a compensação angular:

$$e_r \leq \frac{T_p}{L}$$

Estes valores, sendo obtidos sempre consoante as tabelas 10 e 11 da NBR13133: 1994.

Conforme visto no item 3.3, a realização e a definição do sistema primário e secundário estabelece a necessidade de implantação de poligonais, nestes campos de pontos, os quais devem ser devidamente materializados e ter suas coordenadas ajustadas. Assim para terem confiança, estes dados devem ter adequado ajustamento das observações a fim de se obter um posicionamento preciso na obra.

A NBR13133: 1994 preconiza este ajustamento das poligonais, pois conforme estabelecido na Nota b, do item 6.5.5, tem-se que: *“o erro relativo de fechamento linear (Elr), após a compensação angular, não define a exatidão da poligonal, sendo necessário apenas para o julgamento das operações de campo, controlando a precisão interna da poligonal, como um indicador da divergência linear relativa no sistema de coordenadas cartesianas, x e y”*.

Face ao exposto, ao proceder o ajustamento dessas poligonais, ainda deve-se com a poligonal ajustada, fazer as comparações, usando as expressões conforme

item 6.5.6 e 6.5.8 da NBR :13.133:1994, que correspondem aos valores máximos aceitáveis, após ajustamento.

a.1) erro médio relativo (e_{rD})-máximo aceitável, entre duas estações poligonais consecutivas)

$$e_{rD} \leq TP(N-1) / L(m)\sqrt{(N-1)}$$

a.2) erro médio em azimuth (e_{Az}) máximo aceitável em azimuth

$$e_{Az} \leq \pm T\alpha / \sqrt{N}$$

a.3) erro Médio em Coordenadas (de posição, máximo aceitável)(e_v)

$$e_v \leq \pm e_{rD} * D_{med}$$

Para os cálculos das expressões acima devem ser usadas as tabelas 10 e 11 da NBR 13133:1994 , sendo os valores abaixo utilizados para levantamentos enquadados nas classes IV PA ou II PAC.

$L(m)$ = comprimento da poligonal em m

$a = 0$ “(*)

$b = 15$ “(**)

$c = 0,0$ m (*)

$d = 0,30$ m (**)

D_{med} = lado médio da poligonal em m.

(*) Conforme item 6.5.7.1 da NBR - 13.133:1994

(**) Tabela 11 da NBR - 13.133:1994.

Os trabalhos de cálculo e ajustamento de poligonais devem ser realizados em programas, de pacotes comerciais (Topograph, Posição e GPSurvey) ou acadêmicos como, o MMQ.UFV desenvolvido pelo Prof. Antônio Simões da Universidade Federal de Viçosa - MG, utilizado neste trabalho, e que possibilitem o ajustamento conforme descrito. Nos anexos, para os experimentos realizados, apresenta-se o resultado do processamento segundo a NBR13133: 1994.

No presente trabalho, estas coordenadas ajustadas para as poligonais, tendo o desvio-padrão conhecido, possibilitam conforme descrito em 3.5 obter as incertezas posicionais dos pontos levantados a partir destas poligonais.

4.2.2 Estabelecimento e Georreferenciamento dos Pontos-Objeto Limites do Terreno

Neste trabalho, o campo de pontos-objeto é definido pelos pontos que compreendem os vértices que definem os limites do terreno e demais pontos de posição da edificação e que, uma vez georreferenciados, podem contribuir com o cadastro imobiliário.

Para georreferenciamento ao SGB deve-se proceder a um posicionamento relativo estático (tecnologia GPS), para o transporte das coordenadas aos marcos da base de apoio (figura 14), a partir de um ponto da rede geodésica (por ex. da RBMC-anexo1). O cálculo e ajustamento pelo MMQ da rede GPS “*facção*”, composta por estes três pontos rastreados (A,B e RBMC), permitem um melhor controle dos erros decorrentes deste tipo de posicionamento, pois considera que apenas dois destes vetores são independentes.

Os trabalhos para georreferenciamento do campo de pontos objeto, devem também conforme o item 6 (seis), da NBR14645-1, intitulado Requisitos específicos, ficar “...*condicionados apenas as eventuais exigências de alguns municípios quanto á amarração planimétrica, altimétrica e planialtimétrica dos serviços a redes oficiais*”. Justifica-se realizar o transporte de coordenadas, desde pontos da rede de referência oficial para os pontos da base de apoio implantada. Nos dias atuais, esta vinculação dos levantamentos topográficos ao SGB, é facilitada pelo posicionamento com GPS, em especial com a implantação das estações da RBMC (FORTES 1995).

A base de apoio georreferenciada ao SGB, por terem pontos levantados com tecnologia GPS complementam o levantamento polar clássico. E conforme visto no item 3.4.5, no que tange ao enquadramento das normas de rastreo GPS, as especificações brasileiras do IBGE sendo apenas especificações preliminares, nos leva a adotar normas estrangeiras, tais como as anteriormente referidas, e editadas pelo FGCC. STREIFF (1999) sobre estas especificações afirma: “*as especificações para*

este posicionamento diferencial e os padrões de exatidão geométrica mínima editado em 1989 pelo Federal Geodetic Control Committee (FGCC) permite enquadrar este levantamento em categorias” (3.4.5). Outro aspecto a ser analisado neste trabalho é a integração estação total com GPS, e pode-se adotar qualquer dos caminhos descritos em 3.3.3 para a integração das coordenadas, sobretudo em levantamento e posicionamento em canteiros de obras de edificações dentro do perímetro urbano.

A partir do campo de pontos primário de referência e apoiado na base de apoio deve ser realizado o georreferenciamento dos demais pontos desse campo de pontos. Neste trabalho foram propostas as suas realizações de duas maneiras:

a) Uso de transporte de coordenadas planas UTM, a partir dos pontos da base de apoio, aos pontos do campo primário e/ou secundário. A partir das coordenadas planas UTM desses pontos, procedem-se as irradiações polares aos demais vértices limites do terreno.

O modelo utilizado para o ajustamento das coordenadas dos vértices da poligonal consiste em partir da estação de coordenadas conhecidas (A) e realizar o transporte de coordenadas através das duas estações não ajustadas (1 e 2), retornando a outra estação de coordenadas conhecidas (B), utilizando-se os ângulos internos da poligonal e as distâncias reduzidas ao plano UTM entre as estações (figura 14). Vale ressaltar, face às pequenas distâncias envolvidas, que se pode desconsiderar a necessidade que se efetuem as reduções lineares e angulares. No processo tem-se que as observações ajustadas foram as três distâncias, correspondentes às linhas de poligonais A-1, 1-2 e 2-B, e os três ângulos internos a_A , a_1 e a_2 , conforme figura 14.

A resolução matemática do Modelo Paramétrico, em todas as suas etapas (Linearização, Método dos Mínimos Quadrados, Equações Normais, Valores Ajustados, Variância da Unidade de Peso “a posteriori” e Matriz Variância-Covariância dos parâmetros ajustados), foi totalmente implementada em MATLAB. O programa utilizado para o ajustamento, denominado AJUSTA.m.

A partir, dos pontos desse campo de pontos de referência primário, devidamente ajustado segundo o processo descrito, pode-se obter por irradiação polar as coordenadas planas UTM dos vértices definidores dos limites do terreno.

b) O emprego da transformação de similaridade (única) entre as coordenadas planas UTM e planas topográficas dos pontos do campo de referência (base de apoio) e os demais pontos primários (e/ou secundário) e pontos-objeto (limites do terreno). Este procedimento, descrito em 3.1.5 permite o georreferenciamento e apresenta solução única.

O método empregado compreende a transformação conforme bidimensional, entre as coordenadas a partir de dois pontos idênticos em dois sistemas. Para o presente trabalho foi desenvolvido pelo autor um programa em planilha Excel para as expressões matemáticas que constam no quadro1. E para comprovação do programa desenvolvido em planilha, foi também utilizado o programa ADJUST, programa didático livre desenvolvido por WOLF et GHILANI (1997). Os resultados em experimentos realizados com este programa constam do anexo 3 (PINA).

4.3 A Propagação de Erros no Campo de Pontos-Objeto

Faz-se necessário o conhecimento dos inevitáveis erros de propagação, na execução dos trabalhos de levantamento e locação. A propagação de erros no levantamento polar, a partir dos pontos da poligonal (anel) ajustada é definida a partir de um modelo matemático apresentado no item 3.5.

Como um estudo de caso, segundo proposto em 3.5, realiza-se a análise da propagação de erros nas distâncias curtas nos trabalhos de posicionamento (até 500m). O resultado considera o imóvel urbanizado até 25000m² prescrito na norma NBR-14645-1:2000, onde neste grupo de distâncias curtas (até 500m), está contemplado a maioria das distâncias entre os pontos levantados para o campo de pontos-objeto e limites da parcela urbana. Aplicando na expressão (05) os valores adotados na tabela 2, para os desvios padrões das coordenadas do ponto a ser irradiado, distâncias observadas e medidas angulares obtiveram-se para $\sigma_p = 0,07m$, valor adequado a precisão posicional em pontos limites deste terreno para fins cadastrais.

Tabela 02 : Desvios-Padrão Adotados.

OBSERVAÇÕES (d=500m)		
Desvios-padrão	medições	σ_p = desvio padrão
coordenadas	0,05m	0,07m
distâncias	0,01m	
Medidas angulares	5"	

Os resultados desta propagação de erro, se aplicado para diferentes equipamentos (baixa e média precisão segundo a NBR13133: 1994) e visadas menores (até 100m) conduzem a valores de σ_p ainda melhores que cm, considerando os resultados de desvios obtidos em 5.1 e 5.2 para as coordenadas ajustadas das poligonais.

4.4 A Transferência Vertical de Eixos no CGE

Outra preocupação levada em conta, nos trabalhos de posicionamento, diz respeito à transferência vertical de eixos comentada no item 3.3.2 d que busca a transferência e materialização vertical de pontos destes eixos da obra, de modo a posicioná-los também situados em todos os outros níveis ou andares da edificação.

Nesta proposta, conforme visto anteriormente, os sistemas de referência primário e secundário (3.2.1) dizem respeito ao levantamento do terreno e a ereção de um edifício ou grupo de edifícios. A transferência vertical de eixos de locação da obra, amarrados aos aludidos sistemas, assume fundamental importância para os trabalhos de posicionamento. O trabalho de verticalidade consiste assim (figura 15) da transferência destes eixos aos demais andares da obra. Vale ressaltar, entretanto, que estes procedimentos são hoje muito adotados nas empresas locais de construção e que foram objeto da pesquisa de campo realizada (ver item 2.4).

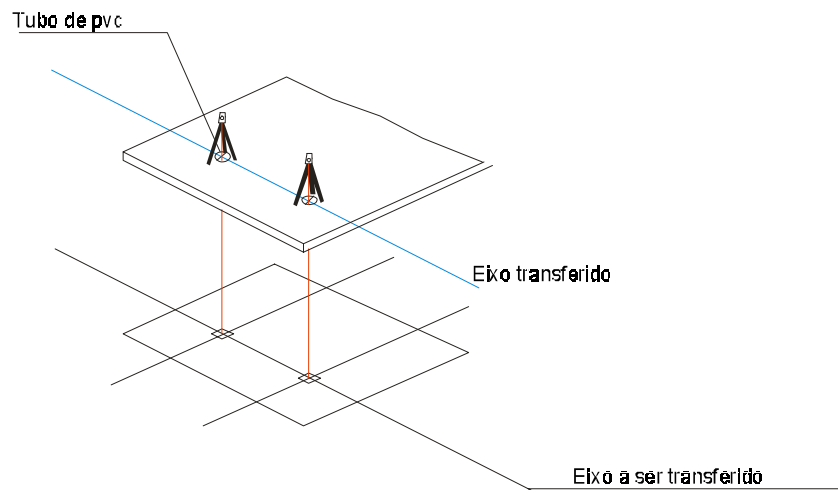


Figura 15: Transferência vertical de eixos. Fonte: Barros 2001.

Existem duas maneiras de transferência de eixos verticalmente na obra (BARROS 2001).

A primeira externamente com marcações de goleiras de aço nas extremidades das lajes do prédio e a segunda transferida de maneira interna, através de orifícios estrategicamente escolhidos nas lajes do prédio (figura 15).

Ambos os métodos exigem o uso de equipamentos geodésicos, tais como teodolitos e estação total (dotada de oculares de cotovelo) ou prumos zenitais de precisão. O segundo caso pode ser usado onde o número de pilares existentes, contornos da fachada ou afastamentos laterais do edifício impedem as linhas de visada, impedindo a marcação. Neste caso conforme BARROS (2001) pode-se transferir os eixos usando as seguintes etapas:

a) colocação na laje superior de tubos de PVC com diâmetro de 40 ou 50 mm nas prumadas dos pontos de posição definidores dos eixos a serem transferidos e materializados previamente com marcos e pregos - os tubos são fixados na laje durante a concretagem;

b) concluída a concretagem da laje, posiciona-se um teodolito ou estação total sobre o furo e com o prumo ótico visa-se o ponto na laje inferior, em face ao pequeno desnível existente;

c) após a visada tampa-se o furo e materializa-se sobre um tampão de madeira o ponto;

d) com a materialização dos pontos definidores dos eixos pode se locar os pontos de posição para arranque dos pilares, ou alvenaria.

4.5 Estabelecimento do Campo de Pontos Altimétrico

Conforme ainda a NBR14645: 2001 devem ser pelo menos três os RN's implantados para a execução dos trabalhos altimétricos, transportados para dentro do terreno da obra e fazendo uso de níveis de precisão, possibilitando as tolerâncias compatíveis com aquelas fixadas naquela norma específica para elaboração do "como construído".

Ao considerar que o levantamento planialtimétrico realizado para atendimento ao controle dimensional de obras (itens 4.1 e 4.2) é da classe IPAC ou IIPAC a tolerância obtida no nivelamento deve corresponder à classe II N.

No que concerne aos instrumentos de campo usados para estes trabalhos de nivelamento dentro do canteiro de obras, estes virão em médio prazo a sofrer profundas transformações, pois os níveis ótico-mecânicos estarão sendo substituídos pelos níveis digitais, e os níveis laser ganharão o merecido espaço nos trabalhos de CGE na obra (3.3.2). O uso de níveis eletrônicos digitais no nivelamento geométrico, os quais permitem armazenamento e processamento de dados no próprio equipamento, trará um enorme diferencial na definição do campo altimétrico, em face da rapidez do recurso de gravação de dados a serem locados em alturas nas suas diversas etapas.

E de modo análogo ao campo de pontos planimétrico, devem ser procedidos os trabalhos de compensações e ajustamento das cotas dos pontos destes campos.

5. EXPERIMENTOS REALIZADOS

Neste capítulo, são apresentadas como estudo de caso e validação do método proposto, duas situações, denominados experimentos nas obras A e B. Nos experimentos das obras A e B o vetor, formado entre os pontos da base de apoio do sistema primário até a RBMC-RECF, compreende dois grupos: ($< 1\text{Km}$) na obra A e com cerca de 10Km na obra B. Esta distância entre a estação de referência (RBMC) e os pontos implantados nas duas obras (A e B), são representativas da maioria das edificações ocorridas na RMR, pois estas se concentram nos bairros que estão neste raio a partir da RBMC. Os dados técnicos da estação fixa (RECF-RBMC) da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, encontra-se no *Relatório de Informação de estação do IBGE* (Anexo1).

Nos dois estudos de caso, é estabelecido apenas o sistema de referência primário e pontos do campo-objeto (limites da quadra), a partir de base de apoio georreferenciada ao SGB. A sequência de trabalhos realizados e os resultados e discussões estão estruturados a seguir.

5.1 Obra A (VÁRZEA)

5.1.1 Área de Trabalho

O campo de pontos de referência primário localizado no bairro da Várzea, na Região Político-Administrativa 04 do Recife é constituído de quatro pontos materializados em pinos metálicos. A área levantada compõe-se assim de pontos situados nos cantos e ao redor de uma quadra urbana (figura 16). Este campo de pontos de referência primário, escolhido por situar-se nos arredores do campus da UFPE, em face de sua proximidade e localização, serviu como um campo de referência para pesquisas e trabalhos de posicionamento, e georreferenciamento.



Figura 16: Localização da Área de Estudo.
Fonte: Projeto UNIBASE – FIDEM

5.1.2. Planejamento do Experimento de Campo

O planejamento das atividades de campo, uma das etapas essenciais na execução dos levantamentos, foi feito com o reconhecimento da área de estudo, verificando a quantidade dos pontos necessários a execução do campo de pontos de referência primário, que possibilite o levantamento planialtimétrico cadastral da quadra. Em se tratando de uma quadra, em área plana, de fácil acesso, foram implantados 4 pontos, ao seu redor, para uma posterior execução dos levantamentos com os métodos polar e GPS (3.3.2). As condições de rastreio para a base de apoio escolhida, foram garantidas pela ausência de obstáculos e os pinos metálicos previstos na NBR14645-1:2001, colocados no pavimento em paralelepípedo, situados no entorno da quadra. Os pontos denominados de STELA(S), KARLA (K), JANICE (J) e ERICKA (E) estão apresentados na figura 17.

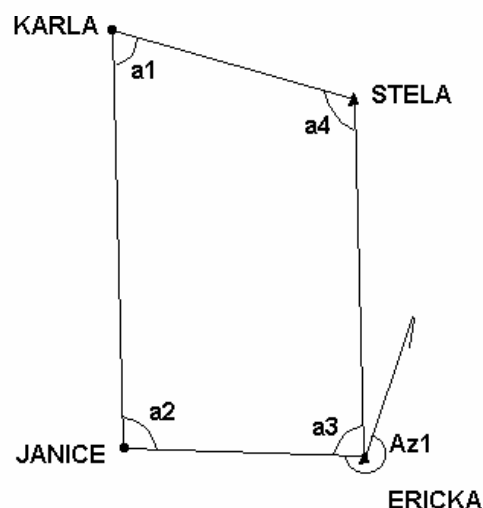


Figura 17: Campo de pontos de referência primário-Obra Várzea.

O planejamento da campanha GPS, para rastreo na base de apoio (no campo de referência primário), com os pontos denominados Stela (S) e Ericka (E), foi realizada a priori, com o auxílio do GPSurvey no módulo usado no planejamento de rastreo, denominado Quickplan. Para uma eficiente coleta de dados pelo GPS foi verificada, no horário do levantamento, a quantidade de satélites, o PDOP (que se refere a geometria formada pelos satélites), os gráficos de azimuth e a elevação de cada satélite. Os citados gráficos (figuras 18 e 19) demonstram sempre um PDOP<4, e ocorrência de no mínimo 6 (seis) satélites, o que evidenciava a possibilidade de sucesso desta campanha.

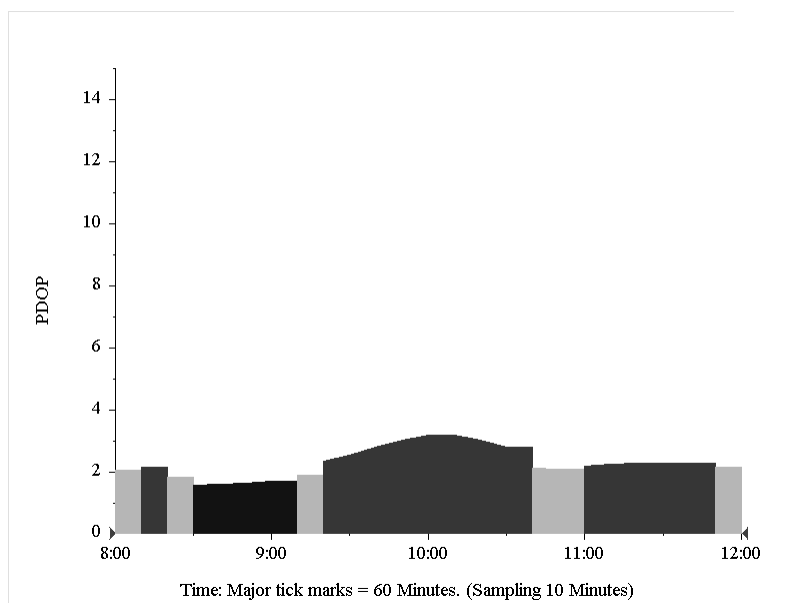


Figura 18: PDOP dos Satélites Durante o Intervalo de Rastreo.
Fonte: Programa GPSurvey

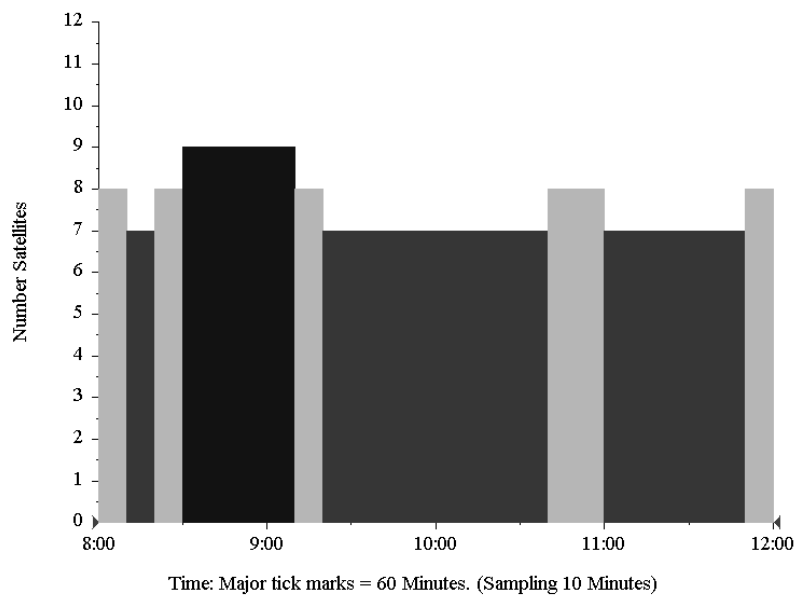


Figura 19: Número de Satélites Durante o Intervalo de Rastreo.
Fonte: Programa GPSurvey

5.1.3 Levantamento dos Pontos em Campo: Base de Apoio e Sistema Primário

a) O Levantamento da Base de Apoio por GPS

Os equipamentos usados para o rastreo GPS, dos pontos da base de apoio (estações S e E), foram dois receptores TRIMBLE 4000 SST, de propriedade do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE , operando simultâneamente em posicionamento relativo, no método estático e durante 2 horas. Em se tratando de modo estático, uma das antenas foi localizada na estação S e a outra em E, que define o alinhamento com coordenadas geodésicas determinadas. A taxa de gravação no rastreo foi de 15s e a máscara de elevação com o ângulo de corte de 15° . Para a realização das observações GPS foram tomados cuidados com a colocação de antenas, sempre na orientação do Norte Geográfico, visando assim minimizar o erro do deslocamento do centro de fase. Além disso, as alturas das

antenas foram medidas com precisão e o número de satélites registrados, durante o rastreamento sempre foi superior a 6 (figura 19).

Os dados desse rastreamento (em S e E) foram processados com aqueles obtidos simultaneamente da estação fixa (RECF) da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, localizada no prédio da Biblioteca Central do Campus da UFPE (Figura 20).



Figura 20: Ponto RECF- RBMC.

b) Levantamento da Poligonal do Campo de Referência Primário

No levantamento polar, para as medições das poligonais foi utilizada uma estação total TC500, da Leica, com precisão angular de 6" e linear de $(3\text{mm}+2\text{ppm}\cdot D)$ e um conjunto de três prismas refletores, sendo dois fixos sobre tripé, e um móvel com bastão e dotado de nível de bolha.

Em atendimento a NBR13133:1994 , as poligonais desenvolvidas foram do tipo 1, ou seja, fechada em uma só direção e em um ponto. O levantamento enquadrado na classe II PAC ou IVPA, indicando para poligonais planimétricas a classe II P ou superior, conforme a tabela 5 p.13 da NBR13133:1994. As leituras dos ângulos horizontais nas estações da poligonal foram realizadas em três séries de visada conjugadas direta e inversa com dispositivo de centragem forçada.

Os pontos das divisas de lote foram levantados por irradiação polar simples em uma visada direta. A caderneta do levantamento de campo, croquis e resultados de processamento nos programas (Topograph e Posição 2000) consta no Anexo 2 (VÁRZEA).

c) Levantamento pelo Método Ortogonal

No método ortogonal se utilizou trenas em aço de 20m, associada de um instrumento denominado esquadro de prisma. Todos os detalhes de interesse, a serem levantados, foram projetados nas linha base denominadas SK, KJ, JE e ES. No anexo 2 (VÁRZEA) apresenta-se croquis de campo, para linha base e detalhes dos limites de terreno levantados.

5.1.4 Processamento dos Dados

a) Processamento dos Dados (GPS) nos Pontos da Base de Apoio

Os dados obtidos através do levantamento GPS foram processados no software comercial GPSurvey da Trimble, e calculadas as coordenadas dos três pontos, através de processamento das três linhas de bases observadas, ilustradas figura 21.

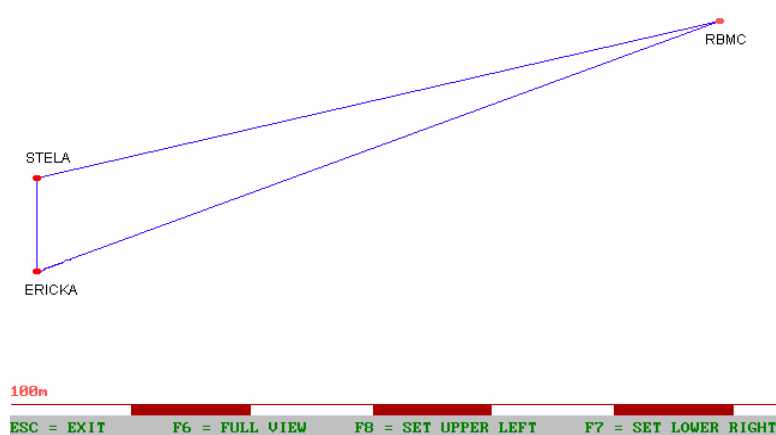


Figura 21:Linhas de Base observadas.
Fonte : Programa GPSurvey.

As três linhas observadas, embora não possam ser consideradas vetores independentes, conforme comentado anteriormente (ver item 4.2.2), foram processadas no módulo WAVE do GPSurvey e depois ajustadas no TRIMNET PLUS. As coordenadas ajustadas, com seus respectivos desvio-padrão estão mostradas no quadro 3. Devido as pequenas distâncias entre os pontos e o tempo de rastreo de 2 horas, as ambiguidades foram todas fixadas, justificando assim a alta precisão da ordem de 1 (um) mm (σ).

Quadro 3: Coordenadas Ajustadas (WGS-84).Fonte: Programa GPSurvey.

Ponto	Coordenadas	Ajustamento	Novas coordenadas	1.00 σ
Estação RBMC/RECF Fixed Control	8°03'03.47868" S			
	34°57'05.43592" W			
	20.376m			
ERICKA (E)	$\phi=8^{\circ}03' 10.508464''S$	-0.000023"	$\phi=8^{\circ}03' 10.508487''S$	0.000699m
	$\lambda=34^{\circ}57' 23.967917''W$	-0.000031"	$\lambda=34^{\circ}57' 23.967948''W$	0.000701m
	H=4.1190m	-0.0013m	h=4.1177m	0.000724m
STELA (S)	$\phi=8^{\circ}03' 07.853307''S$	-0.000011"	$\phi=8^{\circ}03' 07.853318''S$	0.000699m
	$\lambda=34^{\circ}57' 23.951902''W$	-0.000016"	$\lambda=34^{\circ}57' 23.951918''W$	0.000701m
	H=4.4389m	-0.0006m	h=4.4383m	0.000724m

Os resultados obtidos do levantamento da base de apoio com GPS foram coordenadas geodésicas ajustadas (ver quadro 3) referenciadas ao sistema WGS-84. Estas coordenadas foram transformadas em planas UTM, referenciadas ao SAD-69. As coordenadas obtidas desta transformação estão listadas no quadro 4.

Quadro 4: Coordenadas planas UTM (SAD 69).Fonte: Programa GPSurvey.

Ponto	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
E	284398,997	919379,020
S	284399,098	9109460,606

b) Processamento nos Pontos do Campo Primário de Referência e Limites

Conforme estabelece a NBR13133: 1994 para levantamento enquadrado na classe IVPA ou IIPAC, os resultados dos cálculos realizados devem ter coordenadas

ajustadas e encontram-se junto com as cadernetas de campo e os resultados do processamento no anexo 2 (VÁRZEA).

Com os valores ajustados das coordenadas nas duas estações (estação S, E), a poligonal formada por estes dois pontos e mais os pontos J e K, pode ser calculada e ajustada fazendo uso dos programas Posição e Topograph, e do programa MMQ UFV, desenvolvido pelo Prof. Antônio Simões Silva, da Universidade Federal de Viçosa, MG, para ajustamento de redes planas e poligonais.

Além da aplicação acima descrita, nas poligonais do campo de referência primário, foi desenvolvido no trabalho um programa em MATLAB, que permite o transporte de coordenadas com ajustamento. O referido programa, denominado AJUSTA.m, foi desenvolvido pela Prof^a Verônica Romão da Universidade Federal de Pernambuco. Os pontos limites do terreno foram levantados por irradiação polar, a partir dos pontos ajustados das poligonais, e calculados no programa Polar.m, também desenvolvido em MATLAB.

c) A Poligonal Ajustada para o Transporte de Coordenadas UTM

A poligonal formada para transporte de coordenadas é formada pelos pontos E, S, K e J (figura 17) e deve ser ajustada. Sendo observados distâncias e ângulos, o modelo matemático adotado para o ajustamento foi o Modelo Paramétrico (4.2.1 e 4.2.2) onde esses dois tipos de observações são colocados em função dos parâmetros a determinar (coordenadas E e N dos pontos não ajustados K e J). O modelo utilizado para o ajustamento das coordenadas dos vértices da poligonal, consiste em partir de uma estação de coordenadas conhecidas (S) e realizar o transporte de coordenadas, através das duas estações não ajustadas (K e J), retornando a outra estação de coordenadas conhecidas (E), utilizando-se os ângulos internos da poligonal e as distâncias entre as estações. Nesse processo, as observações ajustadas foram as três distâncias, correspondentes às linhas de base S-K, K-J e J-E, e os três ângulos internos a_4 , a_1 e a_2 , conforme figura 17. O ajustamento da poligonal feito pelo Método Paramétrico apresentou os seguintes resultados:

Estação KARLA

E = 284.332,4472 m

N = 9.109.487,4225 m

Estação JANICE

E = 284.330,6447 m

N = 9.109.384,9169 m

$$\sigma_0^2 = 1,96774167363674$$

MATRIZ VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA

$$MV-C = \begin{vmatrix} 0,000007423 & 0,000001927 & 0,000001566 & 0,000003008 \\ 0,000001927 & 0,000005118 & -0,000002079 & 0,000003883 \\ 0,000001566 & -0,000002079 & 0,000006274 & -0,000002683 \\ 0,000003008 & 0,000003883 & -0,000002683 & 0,000008067 \end{vmatrix}$$

O Quadro 5 resume os resultados da MV-C e indica os desvios para as coordenadas ajustadas dos pontos KARLA e JANICE e o comprimento dos lados.

Quadro 5: Desvios Das Coordenadas Ajustadas.

Estação	Desvios nos eixos		total	lado
K	Coordenada E	0,0027 m	0,00354m	71,843m
	Coordenada N	0,0023 m		
J	Coordenada E	0,0025 m	0,00379m	174,365m
	Coordenada N	0,0028 m		

A verificação da precisão linear do ajustamento da poligonal com os dados do Quadro 5, apontou um valor de 1/46. 000. Este resultado considerado muito bom se deve ao fato de se ter tomado como referência um ponto da Rede Nacional de 1ª ordem (RBMC), para a determinação de outros dois que, a princípio, deveriam ser de 4ª ordem.

Convém acrescentar ainda, que as distâncias observadas e os ângulos poligonais, para o cálculo no plano UTM, necessitam das reduções angulares e lineares discutidos no capítulo 3. Devido à pequena extensão destes campos de pontos, a sua desconsideração produz discrepâncias, de valor desprezível, nos trabalhos de posicionamento da obra em áreas urbanas.

5.1.5 Discussões de Resultados

a) Coordenadas obtidas da Base de Apoio

Face às linhas de bases rastreadas serem pequenas os resultados, para a base de apoio foram satisfatórios, sendo a mesma utilizada para obtenção de coordenadas do posicionamento da obra e uso em levantamento do cadastro imobiliário. Os valores de desvio-padrão, nas coordenadas ajustadas de E e S, sempre melhores que 1mm (ver quadro 3), resultam do fato de serem linhas de base curtas, obtidas com rastreo em equipamento de duas frequências e também do tempo deste rastreo, cerca de duas horas.

b) Coordenadas Obtidas das Poligonais do Sistema Primário

Os resultados das coordenadas ajustadas e acurácias são mostradas no Quadro 6. Os valores destes desvios sempre inferiores a 5mm, valor considerado bastante adequado para incerteza de posição em trabalhos de posicionamento na obra, segundo BARROS (2001).

Se considerarmos conforme mostrado no item 4.3, que a propagação de erro em irradiação polar com MED atinge valores máximos da ordem do cm (visadas longas), este tratamento matemático deve ser usado nos levantamentos para o posicionamento preciso. Outrossim, vale acrescentar que no levantamento, para o posicionamento da obra, o que importa é esta precisão interna das coordenadas obtidas das poligonais, o que permite afirmar que nas distâncias para levantamentos e locação prediais (geralmente inferiores a 100m) as coordenadas dos pontos irradiados terão incerteza posicional melhor que o cm.

Quadro 6: Coordenadas ajustadas no programa MMQ-UFV (Várzea).

Estação	Coordenadas Ajustadas (m)		Acurácia (mm)	
	Norte	Este	Norte	Este
1	473,267	566,682	3,5	3,4
2	575,779	568,360	4,3	4,3
3	581,596	500,000	3,0	3,3
4	500,000	500,000	0,0	0,0

c) Coordenadas para Pontos Limites da Quadra no Método Polar e Ortogonal

O levantamento ortogonal, dos pontos limites da quadra, foi utilizado para possibilitar a comparação com o posicionamento polar e, portanto, ter resultados de discrepâncias entre as coordenadas segundo estes métodos. Este método, descrito em 3.3.2, permite que os pontos definidores dos limites da quadra sejam obtidos a partir de linha de referência de medição, e sejam determinadas as suas coordenadas.

Os resultados nas discrepâncias obtidas nas coordenadas dos pontos limites de lotes da quadra levantada com discrepâncias médias de cerca de 8,4cm (ver anexo VÁRZEA), em relação ao método ortogonal realizado nos levantamentos desses pontos, constituiu indicativo de qualidade geométrica dos levantamentos realizados no posicionamento polar.

5.2- Obra B (PINA)

5.2.1 Área de Trabalho

Localizada no bairro do Pina, na Região Político-Administrativa 06 do Recife, área levantada é um terreno urbano que está na rua Barão de Santo Ângelo (figura 22).

Esta rua é de uso predominantemente residencial e constitui expansão imobiliária face a proximidade com a zona litorânea e o centro da cidade do Recife. Com aproximadamente 2000m², caracteriza-se como um terreno com boa representatividade no conjunto amostral das obras verticais existentes na RMR.

A área de trabalho apresenta-se hachurada (figura 22), e representada na planta topográfica cadastral do projeto UNIBASE na escala de 1:1000.



Figura 23: Campo de pontos de referência primário -obra PINA.

5.2.3 Levantamento da Base de Apoio, Sistema de Referência e Campo-objeto.

Antes do início dos trabalhos de levantamento, e também em qualquer etapa de execução do posicionamento, deve-se sempre verificar os marcos referenciais de levantamento e posicionamento da obra. Esta verificação atende a recomendação da NBR14645: 2001, parte1, e também permite se certificar das condições satisfatórias destes marcos. Da mesma forma foi verificada a estabilidade das Referências de Nível para o campo altimétrico, que neste caso localiza-se fora da obra e coincidentes com os marcos do campo de referência planimétrico.

a) A Base de Apoio por GPS

Para o rastreamento com GPS dos pontos da base de apoio (estações P1 e N) foram utilizados dois receptores da marca RASCAL 8 (Allen Osborne Associates), das frequências L1 e L2 e código CA, de propriedade do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, operando simultaneamente em posicionamento relativo, no método estático e durante cerca de 30 min.

Em se tratando de modo estático, um dos receptores foi localizado na estação P1 e o outro em N, que define o alinhamento base de apoio e tiveram as coordenadas geodésicas determinadas. A taxa de rastreamento foi de 5s e o ângulo de corte de 15°. Para a realização das observações GPS foram tomados cuidados com a colocação de antenas, sempre com orientação do Norte Geográfico, visando assim mi-

nimizar o erro do deslocamento do centro de fase. Além disso, as alturas das antenas foram medidas com precisão e o número de satélites registrados sempre foi superior a 6.

Os trabalhos de rastreamento fizeram parte de resultados de uma campanha GPS, realizada pelo DECart, que na região é o responsável pelo gerenciamento da estação RECF-RBMC, do IBGE. E assim, tornando possível o rastreamento simultâneo e necessário, a uma taxa não usual de 5s, com esta rede de monitoramento. A taxa de rastreamento com 5s adotada nestes trabalhos, associada a utilização de equipamento de duas frequências, embora pouco usual e desnecessária, em trabalhos de linhas bases ou vetores curtos, possibilitou neste experimento uma melhor confiabilidade aos dados levantados.

b) Levantamento da Poligonal do Campo de Referência Primário e Objeto

No levantamento polar, do campo de pontos de referência primário e para as medições das poligonais (traverse) e irradiações de pontos limites, foi utilizada uma estação total TCR307, da Leica Systems, com precisão e desvio padrão angular de 7" e linear de $(3\text{mm}+2\text{ppm}\cdot D)$ e um conjunto de mini-prismas refletivos com o bastão dotado de nível de bolha. Em atendimento a NBR13133:1994, as poligonais desenvolvidas foram do tipo 1. E o levantamento enquadrado na classe I PAC ou III PA indicando para poligonal planimétrica a classe III P.

As leituras angulares das estações da poligonal foram realizadas em três séries, de visada direta e inversa, e as medidas lineares dos alinhamentos feitas segundo visadas à ré e a vante. Os pontos das divisas de lote foram levantados por irradiação com uma visada direta. A caderneta do levantamento de campo, croquis, monografia e resultados constam no Anexo 3 (PINa).

5.2.4 Processamento dos Dados

a) Processamento GPS da Base de Apoio do Sistema de Referência

Os dados obtidos através do levantamento GPS foram processados no softwares comerciais Grafnav e Grafnet, da WAYPOINT e no GPSurvey, onde foram

calculados três pontos, através de processamento das três linhas de bases observadas, e que constam do anexo 3 (PINA).

b) Cálculo do Sistema de Referência Primário e Campo de Pontos-Objeto

Com os valores das coordenadas, nas duas estações rastreadas (P1, N), expressas em coordenadas topográficas locais, a poligonal constituída por estes dois pontos e o ponto P2, pode ser calculada e ajustada, fazendo uso dos programas Posição e Topograph, e do programa desenvolvido pela UFV para ajustamento de poligonais. Os resultados estão mostrados no anexo 3 (PINA).

No método de posicionamento polar, utilizando-se a estação total Leica TCR307 executou-se este levantamento, sendo na poligonal observados a determinação dos ângulos horizontais e distâncias inclinadas. Conforme estabelece a NBR13133: 1994, para levantamento enquadrado nesta classe III PA ou IPAC os resultados dos cálculos realizados devem ter coordenadas ajustadas, e encontram-se com as cadernetas de campo e os resultados do processamento, no anexo 3 .

c) Processamento do Campo de Pontos-Objeto Altimétrico

As observações para determinação do campo de pontos altimétrico realizadas com nível eletrônico digital (figura 24), cujas especificações técnicas o classificam em precisão alta, conforme a tabela 2 (NBR13133:1994), foram processadas, no módulo nivelamento, do programa aplicativo LEICA LEVEL PAK, após o descarregamento automatizado desses dados de observação e os resultados estão apresentados no Quadro 7.



Figura 24: Nível eletrônico no campo primário

Quadro 7:Nivelamento geométrico.

LevelPak Level Line Report							
Project	: OBRA JWA						
Generated	: 03/07/2003 at 17:01:58						
Unit	: Meter						
Level Line	: OBRA NIV JWAPINA Line 001						
Heights	: Downloaded						
Active Pt Name	Back	Tp.	Intmtd.	Fore	Dist	Height	Comments
x						10.00000	CHAPA RN CALÇADA
x P1	1.47170				10.09		
x N				1.56130	11.21		
x						9.91030	PINO METÁLICO RN
x N	1.56130				11.19		
x P1				1.47170	10.09		
x						10.00000	
x P1	1.50730				14.82		
x B		In	1.53750		16.02		
x						9.96980	PIQUETE RN
x EIXO X		In	0.46830		31.43		
x						11.03900	TÁBUA CORRIDA (MURO E)
x EIXO Y			0.44220		30.77		
x						11.06510	TÁBUA CORRIDA (MURO FUNDO)
x EIXO Y	0.43720				30.78		
x EIXO X				0.46140	31.23		
x						11.04100	TÁBUA CORRIDA (MURO FUNDO)
x EIXO X		In	1.53250		15.98		
x 7						9.96980	PIQUETE RN
x 8		In	1.50460		14.94		
x P1						9.99780	CHAPA RN CALÇADA
x							
Level Line Memo:							

d) Processamento das Coordenadas dos Limites do Terreno

Os pontos levantados para definição dos limites do terreno, e pertencentes ao campo de pontos-objeto, tiveram suas coordenadas no sistema de projeção UTM, obtidas de maneira diferente do experimento da VÁRZEA sendo utilizadas a transformação de coordenadas pelo método de similaridade conforme de Helmert. Para estes cálculos utilizou-se a planilha Excel e também o programa ADJUST, descrito no item 3.1.5, e os resultados deste processamento encontram-se no anexo 3 (PINA). Considerando que foram utilizados dois pontos para a base de apoio, esta transformação foi considerada como transformação de similaridade em solução única.

5.2.5 Discussões de Resultados

a) Coordenadas obtidas por GPS na Base (PINA)

As coordenadas da base de apoio foram obtidas por GPS referenciadas no sistema WGS-84 e depois transformadas em UTM SAD-69. O resultado do processamento das linhas de base, feito como irradiação a partir da RBMC e da rede “facção” ajustada, apresentou discrepâncias de cerca de 13cm em norte e 3,5 cm em este conforme se observa no quadro 8. Em face destes resultados, como mencionado anteriormente para linhas de base até 10Km, usando apenas equipamentos com a frequência L1, decorre a recomendação que não se aceite irradiação GPS da RBMC, para um único ponto. Recomenda-se, portanto, que o controle seja realizado através da base de apoio ou “facção”, sendo obtidos assim dois pontos rastreados.

Vale acrescentar, no entanto que as linhas de base a partir de RECF-RBMC tiveram os cálculos de propagação de erro e coordenadas ajustadas, no Trimnet do GPSurvey, com resultados melhores que 5cm, resultado que enquadra este trabalho segundo o FGCC em C1 (ver anexo 3).

Quadro 8:Coordenadas ajustadas e irradiadas da base de apoio GPS

Datum Conversion: 'WGS84 to SAD69 (Mean)'				
ID	NORTH	EAST	HEIGHT	
P1	9105617.851	291684.282	25.293	
RECF	9109597.747	284965.492	48.741	
ID	NORTH	EAST	HEIGHT	
P1	9105617.981	291684.317	25.623	
N	9105633.142	291669.629	25.256	
RECF	9109597.747	284965.492	48.741	

No que tange a necessidade de reduções lineares nesta medida plana UTM, obtida para a base de apoio, ao compará-la com a distância horizontal observada (MED) tem-se uma diferença de 5,7cm e que assume preocupação, apenas caso este valor de distância plana UTM seja usado em lugar da distância horizontal observada, para o cálculo das poligonais, procedimento comentado como inadequado em CAMARGO et MONICO (1998).

b) O Cálculo e Ajustamento das Poligonais no Campo de Referência Primário

As poligonais implantadas para definição do sistema primário de referência foram calculadas, fazendo uso de programas comerciais (Posição e Topograph), existentes no país. Os resultados obtidos constam dos anexos, e obedecem ao prescrito na NBR13133: 1994, no que diz respeito ao ajustamento dessas poligonais.

Conforme se pode observar nos anexo 3 (PINA), o programa comercial Topograph apresenta os cálculos previstos na norma, e comentados no capítulo 3. Em que pese as coordenadas corrigidas e/ou ajustadas bem como os demais resultados envolvidos estarem bastante coerentes entre si optou-se neste trabalho pelo uso do Programa de Ajustamento de Redes Planas desenvolvido pela equipe do Prof. Antônio Simões Silva da UFV e cujo resultado consta no quadro 9.

Quadro 9: Coordenadas ajustadas no programa MMQ-UFV.

Estação	Coordenadas Ajustadas (m)		Acurácia (mm)	
	Norte	Este	Norte	Este
P1	500,000	500,00	0,0	0,0
P2	527,702	509,602	3,5	2,8
N	521,056	500,000	2,9	1,5

Os resultados, oriundos do relatório deste programa, apresentam precisão média das coordenadas obtidas de 1,6 mm, para pontos da poligonal do campo primário. Este valor é muito satisfatório, para os trabalhos de levantamentos para o posicionamento preciso da obra, visto interessar nestes levantamentos apenas a precisão interna da rede ou poligonal implantada.

Por outro lado, estes valores de acurácias (ver quadro 9) foram tornados possíveis, apenas em face de utilização de equipamentos de precisão adequados, e com procedimentos de medições angulares e lineares segundo a NBR13133/1994. Outro cuidado adotado consistiu de verificar a correta integração de dados de poligonais e GPS, conforme citado no item anterior. Caso fosse adotada a medida plana UTM da base de apoio GPS, teríamos discrepâncias da ordem de 5,7cm, entre as medidas desta base de apoio e aquelas obtidas através do posicionamento polar

com uso de MED, que certamente diminuiria a precisão das coordenadas desta poligonal.

Se considerarmos conforme mostrado para o experimento VÁRZEA, que a propagação de erro em irradiação polar com MED atinge valores máximos da ordem de 5mm (visadas curtas) este valor representa valor de precisão interna adequado para os trabalhos de locação e levantamentos para o posicionamento da obra.

Quadro 10: Comparação de distâncias no perímetro do terreno

Lado do terreno	Medida obtida diretamente (m)	Medida obtida por coordenadas (m)
C1 C2	33,07	33,05
C2 C3	60,01	59,96
C3 C4	33,02	32,98
C4 C1	59,86	59,85

O quadro 10, mostra dos quatro lados do terreno os resultados das medições efetuadas diretamente no terreno, e as obtidas através das coordenadas dos pontos irradiados pelo método polar. Atende assim ao disposto na NBR14645: 2001, parte 1, no que tange a aceitação e rejeição do levantamento topográfico, visto que a tolerância mínima calculada segundo esta citada norma e para estes lados tem o valor de 0,05m.

c) Os Resultados no Campo de Pontos Altimétrico

O aspecto mais importante, analisado e verificado no campo de pontos altimétrico para o uso da estação total, no nivelamento trigonométrico, é a não observância das tolerâncias altimétricas, segundo a NBR13133: 1994. Este fato encontra-se apresentado e verificado nas cadernetas de nivelamento, que constam do anexo 3 (PINA), tendo em vista os erros obtidos situarem-se, muito abaixo, da tolerância adotada na NBR14645: 2001- parte 1. E leva portanto, a concluir a necessidade de uso apenas do nivelamento geométrico, em trabalhos para o CGE, neste campo de pontos .

d) Resultados da Transformação de Coordenadas por Similaridade (base única) para Pontos Limites do Terreno

O uso do programa ADJUST (ver item 3.1.5), e do programa EXCEL desenvolvido pelo autor, a partir de uma transformação de similaridade de Helmert permite que se obtenha as coordenadas dos pontos limites do terreno georreferenciadas. Conforma se observa nos resultados mostrados no anexo 3 (PINA) e no quadro 11.

O quadro 11 apresenta as discrepâncias entre as coordenadas planas UTM para os pontos limites do terreno, obtidas após a aplicação da transformação de similaridade nos sistemas de coordenadas topográficas locais e planas UTM, e aquelas obtidas para estes pontos a partir da planta topográfica cadastral. As discrepâncias obtidas apresentam valores médios cuja resultante é de 4,562m.

Quadro 11: Discrepâncias entre coordenadas do campo e da planta topográfica cadastral

Pontos	Coord E (m)	Coord N (m)	Coord E (m)	Coord N (m)	Discrepância (m)	
					E	N
C1	291716,610	9105608,380	291713,770	9105605,022	2,840	3,358
C2	291740,770	9105630,920	291737,831	9105627,695	2,939	3,225
C3	291699,410	9105674,860	291696,386	9105671,228	3,024	3,632
C4	291675,320	9105652,150	291672,341	9105648,431	2,979	3,719

O que se observa portanto, nestes resultados são valores de distorções entre estes sistemas de coordenadas, comentadas em trabalhos como os de CARVALHO et al (2003).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento dessa pesquisa teve como objetivo um estudo de aplicações de métodos geodésicos no posicionamento preciso de edificações prediais com vistas à racionalização construtiva, durante a fase de levantamento e posicionamento da obra.

Ainda foi salientada a contribuição do trabalho ao cadastro imobiliário, com o georreferenciamento dos limites do terreno ao SGB, em atendimento à NBR14166: 1998, possibilitando, assim o aperfeiçoamento da especialização da parcela, através das coordenadas dos seus limites.

6.1 Conclusões

De uma forma sintética, as contribuições resultantes deste trabalho de pesquisa foram:

a) Pode-se afirmar que o ajustamento das poligonais, que definem o campo de pontos primário de referência, permite o alcance de uma precisão interna nas coordenadas deste sistema melhor que $5mm$, que é um valor de incerteza posicional adequado aos trabalhos em obras de pequeno e médio portes;

b) as discrepâncias nas coordenadas obtidas entre os métodos topográficos de levantamento, polar e ortogonal, dos pontos limites do terreno, foram da ordem de um decímetro, mostrando que qualquer uma das duas técnicas atende às exigências da planta de situação da obra;

c) a substituição de métodos rudimentares e tolerâncias das medições, adotadas no “sentimento”, ou fruto apenas da experiência prática dos engenheiros, pelo uso de procedimentos metrológicos na mensuração, melhora a qualidade geométrica das obras;

d) ao contribuir para a melhoria da qualidade, o posicionamento preciso, de uso incipiente nas obras da RMR como estratégia de racionalização construtiva, possibilita solução para os problemas de ordem geométricos e/ou tecnológicos;

e) as discrepâncias encontradas nas coordenadas obtidas do processamento das linhas de base GPS (com distâncias de até 10km), conectadas a uma estação de referência, como a RECF-RBMC, formando figura fechada, e por irradiamentos simples, foram da ordem de 1 dm, não atendendo, portanto, as exigências para o posicionamento da obra. Isto enfatiza a necessidade do uso deste controle geométrico, em lugar do usual procedimento de irradiamentos simples;

f) o uso da transformação de similaridade de Helmert, a partir da base de apoio georreferenciada, permitiu discrepâncias de 4,5m para as coordenadas dos pontos limites do terreno, quando comparadas às coordenadas desses pontos obtidas nas plantas topográficas digitais da RGR. Esta discrepância, comentada em 5.2.5, encontra-se evidente em face da queixa de usuários destas plantas topográficas da RMR.

6.2 Recomendações

As conclusões apresentadas, se tomadas em conta por todos interessados nos trabalhos de controle geométrico de edificações prediais para a racionalização construtiva, permitem que se recomende:

a) estudos especializados para estabelecimento de tolerâncias geométricas “não empíricas” para os resultados de métodos de posicionamento adequado e compatível com a realidade de medição atual;

b) a implantação de base de calibração de equipamentos topográficos e GPS, em atendimento ao prescrito na norma NBR13133: 1994, localizados nas universidades ou centros especializados em metrologia, para atendimento das necessidades de empresas certificadas pela ISO 9001/2000;

c) desenvolvimento de pesquisas, em um trabalho conjunto de profissionais de gerência de projetos imobiliários, profissionais do direito, e geomensores, para que o aceite da planta cadastral, com indicação das coordenadas dos pontos de limites georreferenciados ao SGB, como sugerido no presente trabalho, que traz aperfeiçoamento no princípio de especialização da parcela não necessite de retificação judicial;

d) o desenvolvimento de estudos, com aplicação destes métodos geodésicos em todas etapas de execução da obra, que resultem em indicadores objetivos da redução de desperdício na obra;

e) às prefeituras da RMR, com uso dos procedimentos descritos pela ABNT na NBR 14166:1998, que implantem redes de referências municipais através de profissionais habilitados em geomensuração, contribuindo para a existência de um sistema único de coordenadas de referência, para o controle no cadastro imobiliário, cadastro das áreas comprometidas com interferências (CACI), controle no desenvolvimento de obras municipais, bem como otimização dos gastos;

f) desenvolvimento de pesquisas para determinar o modelo gerencial e fiscalizador, mais adequado a uma efetiva realização do trabalho de posicionamento preciso, com vistas a aproximar o projeto executivo do *as built*.

Apesar da inexistência de indicadores de qualidade e desempenho que quantifiquem benefícios e custos advindos do uso deste método, engenheiros de obras e encarregados reconhecem que essa estratégia de racionalização possibilita uma redução de desperdício.

Os estudos realizados na pesquisa demonstram que a aplicação de métodos geodésicos para o posicionamento da obra é relevante, e encoraja o prosseguimento dessas pesquisas. A futura construção civil industrializada exige aplicação de métodos geodésicos e topográficos, nos trabalhos de racionalização construtiva, ainda muito incipientes no País.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE NETO, E. T.; CARDOSO, F. F. Certificação de sistemas da qualidade e sua influência nas novas formas de racionalização da produção na construção de edificações no Brasil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO TECNOLOGIA e GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIO: solução para o terceiro milênio. 1998 São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1998. v. 2, p. 395-402.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. 35p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166**: rede de referência cadastral: procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 35p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14645**: elaboração do “como construído” (as built) para edificações. Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25000m², para fins de estudos, projetos e edificação: procedimento. Rio de Janeiro, 2000. 9p.

BAKKER, M.P.R. **Cartografia**: Noções Básicas. Marinha do Brasil. Rio de Janeiro, 1965.

BARROS, E. O. **Controle geométrico da estrutura de concreto de edifícios como ferramenta da racionalização construtiva**. 2001. 136p. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2001.

BRANDALIZE, M. C. D. **Topografia**. Curitiba: PUC, [2001?]. Disponível em: <www.topografia.com.br/informacao/download.asp> Acesso em: 10 de mar. 2003.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Importância do setor de construção civil na economia brasileira. Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br>> Acesso em: 15 de out. 2002.

CAMARGO, P. O.; MONICO, J. F. G. Posicionamento GPS para apoio de poligonais topográficas: análise do erro de fechamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, 3., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1998.

CARDOSO, F. F. Estratégias empresariais e novas formas de racionalização da produção no setor de edificações no Brasil e na França: estudos econômicos da construção. São Paulo: EPUSP, 1996. n. 2, p.97-156.

CARNEIRO, A. F. T. **Uma proposta de reforma cadastral visando a vinculação entre cadastro e registro de imóveis**. 2000. 175f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina.

CARVALHO, P.R.C. Estudo das distorções do sistema de referências geodésicas da RMR nas épocas 1973 e 1978. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2003.

CASTANHEDA, R. M. **Ensaio para definição de parâmetros de transformação entre o SAD69 e NSW92**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.

CINTRA, J. P. **Automação da topografia: do campo ao projeto**. 1993. 120p. Tese (Livre Docência)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

COSTA, F. S. **Levantamento das mudanças técnicas e gerenciais introduzidas em empresas de construção de edifícios do Recife para melhoria da qualidade**. 2001. 184p. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

DALMOLIN, A. **Ajustamento por mínimos quadrados**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002.

DAMACENA, D. Transformação de poligonais arbitrarias para o sistema UTM usando-se dois vértices em UTM não intervisíveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, 3., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1998.

DEMING, W.E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

DOMINGUES, F. A. A. **Topografia e astronomia de posição**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1979.

DOUBEK, A. **Cadernos técnicos: topografia**. Curitiba: DASC-UFPR, 1981. 77p.

FABRICIO, M. M. **Coordenação de projetos**. Texto de apoio didático EECS. São Carlos, SP: USP, 2002.

FAGGION, W.P.L. Desníveis de primeira ordem com estação total. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS. 3., 2003. Curitiba, **Anais...** Curitiba: UFPR, 2003.

FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário Aurélio**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1992.

FORTES, L.P.S. **Implantação da RBMC: estágio atual.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro CBC, 1995.

FRANCO, L. S. Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada. 1992. Tese (Doutorado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992.

FRANCO, L. S.; AGOPYAN, V. **Implementação da racionalização construtiva na fase de projeto.** São Paulo: EPUSP, 1993. 30p. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/94).

GEMAEL, C. **Introdução a Geodésia Geométrica** (1ª parte). Curitiba: UFPR, 1987.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento das observações:** aplicações geodésicas. Curitiba: UFPR, 1994.

HARA, L.T. **O sistema UTM na locação de grandes obras de engenharia.** 1994. 128 f. Dissertação (Mestrado em Transportes). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

HASENACK, Markus. **Originais do levantamento topográfico cadastral:** possibilidade de sua utilização para a garantia dos limites geométricos dos bens imóveis. 2000. 00f. Dissertação (Mestrado)– Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (Brasil). **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos:** coletânea das normas vigentes. Rio de Janeiro, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (Brasil). **Pesquisa nacional da indústria da construção civil:** dados gerais das empresas – Brasil (Agregação – Grupos e classes da construção). Brasília, DF. 2000. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br>>. Acesso em: 12 jun. 2002.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 4463-1:** measurement methods for building setting out and measurement. Switzerland. 1989. 15p.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 7976-1:** tolerance for building-methods of measurement of buildings and buildings products. Part 1: methods and instruments. Switzerland. 1989. 19p.

JORDAN, W. **Tratado general de topografia.** México: Eddiciones G. Gillis, 1981.

KAHMEN, H.; FAIG, Wolfgang. **Surveying**. Berlim: De Gruyter, 1988. 577p. ISBN 3-11-008303-5.

LOCH, Carlos; **Topografia contemporânea**: planimetria. Florianópolis: UFSC, 1995.

MAIA, T.C. **Estudo e análise de poligonais segundo a NR 13.133 e o sistema posicionamento global**. 1999. 177p. Dissertação (Mestrado) - Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MEDINA A, S. **Classificação Angular de teodolitos e estações**. 1998. 168p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

MONICO, J. F.G. **Posicionamento pelo NASTAR-GPS**: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: UNESP, 2000.

MOREIRA, A. S. B.; SEGATINE, P. C. L. Nivelamento trigonométrico e nivelamento geométrico classe II N: limites e condições de comportabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Monferrer Produções LTDA, 2003. 1CD Rom.

PAHOR J. S. As built (como construído) - sua importância no acompanhamento de obras. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 7., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: CONEA, 1996.

PARMA, G. C. de. Propagação dos erros nos levantamentos cadastrais In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO, 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2002.

PICCHI, F.A. **Sistemas de qualidade**: uso em empresas de construção de edifícios. 1993. Tese (Doutorado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

PHILIPS, J. A Projeção geodésica de Gauss e as coordenadas UTM. **Geodésia online**, Santa Catarina, n.4, 1997. Trimestral. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/geodesia-online/arquivo/AUTORES.HTM>> Acesso em: 10 set. 2003.

PINTO, T.P. **Melhorando a qualidade das obras**. São Paulo, 1995. Disponível em < <http://www.federativo.bndes.gov.br/dicas/D038.htm> > Acesso em: 10 mar. 2003.

PONTES, M. C. C. Comportamento estrutural de edifícios de múltiplos pavimentos submetidos à imperfeição geométrica global. 1999, 120f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1999.

PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE Sub-programa setorial da qualidade e produtividade, Sub-comitê: Indústria da Construção Civil - /Revisão de Fevereiro/2000. Brasília, 2000.

ROCHA, R. S. Referencial geodésico no cadastro urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, 1999, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 1999.

ROMÃO, V.M.C. **Conceitos de geodésia**. Recife: UFPE, 2002.

ROMÃO, V. M. C. SILVA, T. F. S. Rede de referência cadastral municipal: uma proposta do grupo de cadastro imobiliário do DECart – UFPE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, 2., 1996, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1996. v. 2.

ROMÃO, V. M. C. SILVA, T. F. S. SILVA, A. S. Lei 10267 e a norma 14166: procedimento para o geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, 5., 2002, Santa Catarina. **Anais...** Santa Catarina: UFSC, 2002. 1 CD-Rom.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 321p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SANTOS, A. A. **Realização e análise de rede GPS para o Estado de Pernambuco**. 1996. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

_____. **Geodésia elementar**: princípios de posicionamento global-GPS. Recife: UFPE, 2001.

SANTOS, J. L. S. **Implantação de redes geodésicas sub-regionais e locais com o sistema navstar/GPS**: metodologia e aplicações. 1998. 92p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SEEBER, G. **Satélite geodesy**: foundations, methods and applications. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993. 356p.

SEEBER, G.; ROMÃO V. M. C. **Princípios básicos do GPS nas medições geodésicas**, GEODÉSIA online, 2/1997.

SEIXAS, J.J. **Topografia**. Recife: Ed. da UFPE, 1981.

SILVA, I. Topografia Industrial: um campo com muitas oportunidades. **Revista Info-geo**, Curitiba, n.6, p.24-6, mar. abr. 2000.

SILVA, T. F. **Um conceito de cadastro metropolitano**. 1979. 192p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

SILVA, D. C.; QUIRINO, R. C; SOUZA, C. B. Comparação de especificações e normas de levantamentos GPS In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2003. 1CD Rom.

SILVA, D. C.; BOTELHO, F. J. L. C; CARVALHO, P. R. C. Ajustamento de Poligonais levantadas por GPS In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2003. 1CD Rom.

SILVEIRA, L.C. **Cálculos Geodésicos no sistema UTM aplicados a topografia**. Ed e Livraria Luana Ltda. Morro da Fumaça.SC. 1990.166p.

SOUZA, A. R. L. **O projeto para produção das lajes racionalizadas de concreto armado de edifícios**. São Paulo, 1996, 255p Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica Universidade de São Paulo. 1996.

STREIFF, G.G. **Utilização do sistema GPS em levantamento e locação de obras de engenharia**. 1999. 98 p. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. (Brasil). **Agregados econômicos regionais: nordeste do Brasil**, Recife, 1999.

TAJERO, Francisco Garcia. **Topografía general y aplicada**. Madrid: Dossat, 1978.

TORGE, W. **Geodesy**. 2. ed. New York: De Gruyter, 1991. 264p.

VANNI, C. M. K. Análise de falhas aplicada á compatibilização de projetos em uma obra predial. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO – TECNOLOGIA NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS - SOLUÇÕES PARA O TERCEIRO MILÊNIO, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1998.

VARGAS, R. M. A; SCHAAL, R. E; Análise da aplicação do sistema de posicionamento global (GPS) em levantamento topográfico de vias urbanas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, 5., 2002 Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2002. v. 2.

WOLF, P. GHILLANI G. **Adjustement computations: statistics and least squares in surveying and GIS**. Inc. New York: John Wiley & Sons, 1997.

ANEXO 1

DADOS DA ESTAÇÃO RECF DA RBMC



0. Formulário

Preparado por - Kátia Duarte Pereira (IBGE - Departamento de Geodésia)
Data - 02-Fevereiro-2000
Alteração - -----

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação - Recife
Ident. da Estação - RECF
Inscrição no Monumento - chapa de metal cravada na face sul, inscrição SAT 93110
Código Internacional - 93110
Informações Adicionais - Esta estação pertence à Rede de Densificação do IGS

2. Informação sobre a localização

Cidade - Recife
Estado - Pernambuco

Informações Adicionais - A estação consiste de um pilar de concreto dotado de dispositivo de centragem forçada, localizado no telhado do prédio da biblioteca, no Campus da Universidade Federal de Pernambuco

Coordenadas oficiais (SAD-69)

Latitude:	-08° 03' 01.98127"	Sigma:	0.0256 m
Longitude:	-34° 57' 04.30178"	Sigma:	0.0257 m
Alt.Elíp.:	48.7408 m	Sigma:	0.0280 m
UTM (N):	9109597.730 m		
UTM (E):	284965.491 m		
MC:	- 33		

3. Informações do equipamento GPS

3.1 Receptor

3.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE 4000SSI
Número de Série - 16740
Versão do Firmware - 7.29
Data de Instalação - 06 - julho - 1999

3.2 Antena

3.2.1 Tipo de Antena: - DORNE MARGOLIN T
Número de Série: - 70175
Altura da Antena (m): - 0.129 m (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena, conforme figura abaixo)
Data de instalação - 06 - julho- 1999

ANEXO 2

EXPERIMENTO REALIZADO: VÁRZEA

Classe	Tipo	Nível Ref.	a	b	c	d	e	f
II PAC	1	4,4390	0°00'00,0000"	0°00'15,0000"	0,0000	0,3000		

	Estação de Partida	Referência de Partida
Nome	S	E
Norte	500,0000	
Este	500,0000	
Cota	4,439	
Azimuth	0°00'00,0000"	
Distância		

	Estação de Chegada	Referência de Chegada
Nome	S	E
Norte	500,0000	
Este	500,0000	
Cota	4,439	
Azimuth	0°00'00,0000"	
Distância		

	Observados	Compensados
Perímetro	324,5710 m	324,5722 m
Área	6.229,1442 m²	6.229,3127 m²

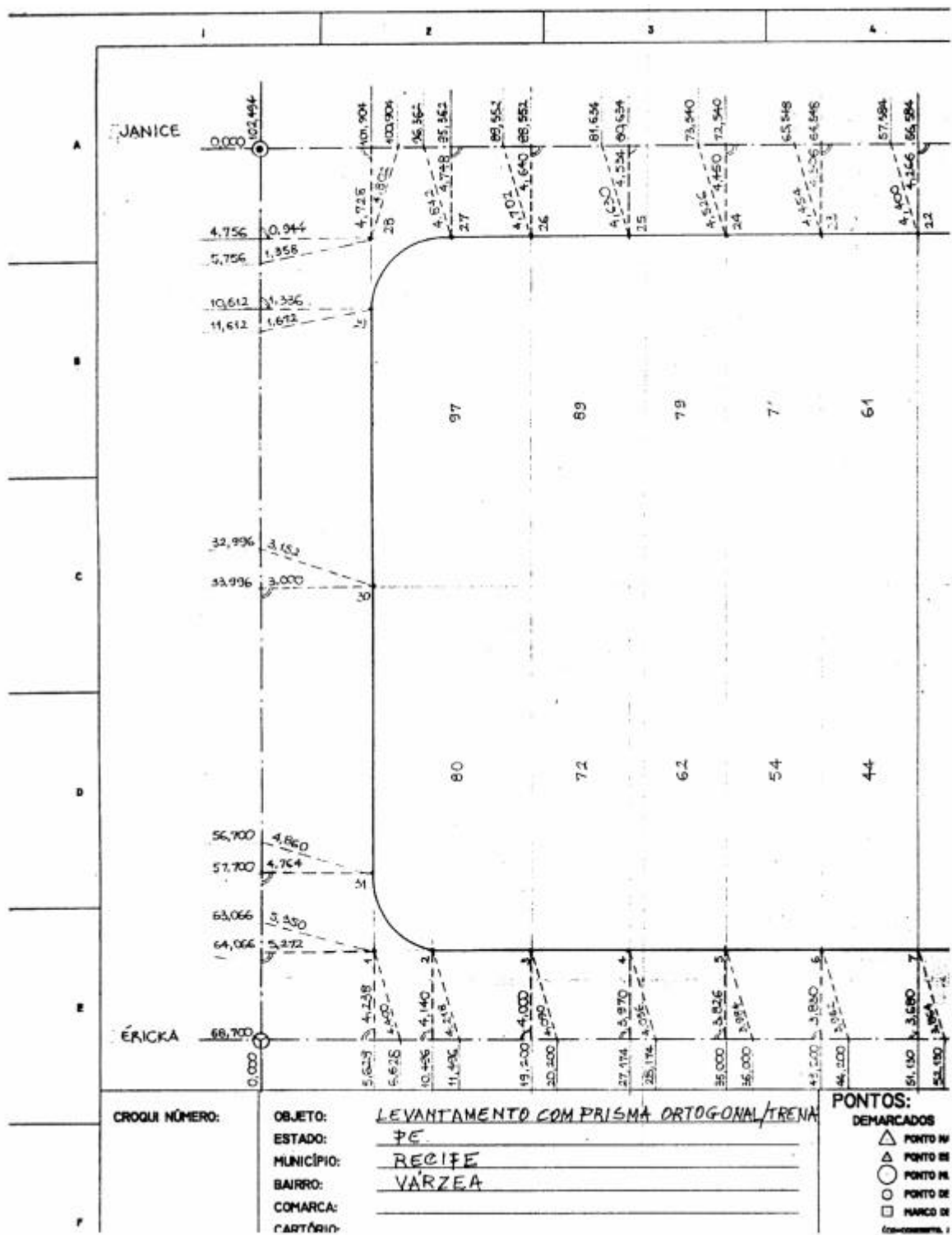
	Erros	Tolerâncias	Fora
Angular	0°00'19,2033"	0°00'29,9909" (=a+b×N½)	
Relativo	1:41887	1:1899	
Linear	0,0077 m	0,1709 m (= c+d×L½)	
Eixo Norte	m	m	
Eixo Este	m		
Altimétrico			
er(X Máximo)	1:24.685	1:950	
eAz	0°00'05,3674"	0°00'13,4124"	
eV	0,0029 m	0,0855 m	

	Estação de Partida	Referência de Partida
Nome	S	E
Norte	9 109 460,6060	9 109 379,0200
Este	284 399,0980	284 398,9970
Cota	4,439	4,117
Azimuth	180°04'15,3468"	
Distância	81,5861 m	

	Estação de Chegada	Referência de Chegada
Nome	S	E
Norte	9 109 460,6060	9 109 379,0200
Este	284 399,0980	284 398,9970
Cota	4,439	4,117
Azimuth	180°04'15,3468"	
Distância	81,5861 m	

	Observados	Compensados
Perímetro	324,5710 m	324,6287 m
Área	6 231,3135 m²	6 231,8711 m²

	Erros	Tolerâncias	Fora
Angular	0°00'19,2033"-9947" (= 0°00'20,0000"×N½)		
Relativo	1:41888	1:10000	
Linear	0,0077 m		
Eixo Norte	0,0071 m		
Eixo Este	0,0032 m		
Altimétrico			



ANEXO VÁRZEA: DISCREPÂNCIAS ENTRE COORDENADAS

PT	MÉTODO ORTOGONAL		MÉTODO POLAR		DISCREPÂNCIAS (m)
	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Coord. E (m)	Coord. N (m)	
1	284394,7660	9109384,6532	284394,7930	9109384,6610	0,0281
2	284394,8700	9109389,5211	284394,9730	9109389,5280	0,1032
3	284395,0208	9109398,2249	284395,1100	9109398,1900	0,0958
4	284395,0606	9109406,1989	284395,1610	9109406,2030	0,1004
5	284395,2143	9109414,0247	284395,2680	9109414,0470	0,0581
6	284395,2205	9109422,2247	284395,2540	9109422,1040	0,1253
7	284395,3803	9109430,1545	284395,4080	9109430,0870	0,0730
8	284395,4602	9109438,1544	284395,4940	9109438,1310	0,0411
9	284395,4941	9109446,1684	284395,5660	9109446,1250	0,0840
10	284395,5930	9109456,5443	284395,6300	9109456,4710	0,0821
11	284395,5910	9109458,9903	284395,5340	9109458,8810	0,1232
12	284378,0089	9109459,4601	-	-	-
13	284365,5094	9109459,5712	-	-	-
14	284365,7059	9109471,4950	284365,6910	9109471,5910	0,0971
15	284341,7688	9109481,7658	284341,7060	9109481,7170	0,0795
16	284336,1630	9109484,2368	284336,1110	9109484,2000	0,0637
17	284336,1295	9109478,9282	284336,0900	9109478,9050	0,0458
18	284336,0374	9109462,8790	284335,9490	9109462,9390	0,1068
19	284335,8850	9109454,7783	284335,9390	9109454,7600	0,0571
20	284335,7992	9109446,8265	284335,8090	9109446,8810	0,0554
21	284335,7967	9109438,7191	284335,7230	9109438,7440	0,0778
22	284335,6787	9109430,7578	284335,7590	9109430,7510	0,0805
23	284335,6187	9109422,7915	284335,7170	9109422,8000	0,0986
24	284335,6222	9109414,7961	284335,5750	9109414,8310	0,0587
25	284335,5639	9109406,6997	284335,5170	9109406,7230	0,0524
26	284335,5307	9109398,7789	284335,5290	9109398,7810	0,0027
27	284335,5190	9109391,9662	-	-	-
28	284335,3840	9109385,4239	-	-	-
29	284341,3176	9109385,3353	-	-	-
30	284364,7261	9109384,9838	284364,7500	9109384,9050	0,0823
31	284388,4616	9109384,7043	284388,1590	9109384,6530	0,3069

MÉDIA	0,0838
--------------	---------------

ANEXO 3

EXPERIMENTO REALIZADO: OBRA PINA

LISTAGEM DA CADERNETA

Cliente: MESTRADO
Obra: PINA RL CURTO
Município: RECIFE
Estado: PERNAMBUCO
Local: PINA
Arquivo: C:\MESTRADO2002\USO_MESTRADO04082003\resultados_PINA POLIGONAL\Cópia de POLIGONAL_PINARL_RLCURTO.cad

PT VISADO	TIPO	DESCRIÇÃO	ÂNG.HZ.D	ÂNG.VT.D	ÂNG.HZ.I	ÂNG.VT.I	H.P.	DT.INC	DT.RED	DESNIV
ESTAÇÃO: P1			H.I.: 1.470							
N	R		0°00'00"	90°42'25"	*****	*****	1.300	21.051	21.049	-0.090
P2	V POL		19°07'11"	90°25'27"	*****	*****	1.300	29.325	29.324	-0.047
ESTAÇÃO: P2			H.I.: 1.531							
P1	R		0°00'00"	90°21'28"	*****	*****	1.300	29.317	29.316	0.048
N	V POL		36°12'09"	91°32'17"	*****	*****	1.300	11.685	11.681	-0.083
ESTAÇÃO: N			H.I.: 1.580							
P2	R		0°00'00"	91°09'16"	*****	*****	1.300	11.680	11.678	0.045
P1	V POL		124°41'19"	90°30'34"	*****	*****	1.300	21.056	21.055	0.093

RELATÓRIO DE POLIGONAL

Cliente: MESTRADO
Obra: PINA RL CURTO
Município: RECIFE
Estado: PERNAMBUCO
Local: PINA
Arquivo: C:\MESTRADO2002\USO_MESTRADO04082003\resultados_PINA POLIGONAL\Cópia de POLIGONAL_PINARL_RLCURTO.cad
POLIGONAL: Fechada CÁLCULO: Topográfico

ESTAÇÃO	ÂNGULO HORIZ	AZIMUTE	DISTÂNCIA	COORD.NORTE	COORD.ESTE	COTA	DESCRIÇÃO
N		180°00'00"					
P1	19°07'11"	19°07'10"	29.320	500.000	500.000	10.000	POL
P2	36°12'09"	235°18'36"	11.679	527.701	509.603	9.962	POL
N	124°41'19"	180°00'00"	21.052	521.054	500.000	9.902	POL
P1				500.000	500.000	10.000	POL

DADOS DO FECHAMENTO

Perímetro.....	62.051		
	ERROS	TOLERÂNCIAS	
Angular.....	-0°00'39"	0°00'13"	Erro Distribuído
Relativo.....	1:11679	1:10000	Erro Distribuído
Linear.....	0.0053		
Eixo Norte.....	0.0050		
Eixo Este.....	-0.0018		
Azimute.....			
Altimétrico....	0.0199	0.0050	Erro Distribuído

FERNANDO-PINA2D

Two Dimensional Conformal Coordinate Transformation from file:
FERNANDO-PINA2D.dat

Survey transformation

~~~~~

$$\begin{aligned} ax - by + Tx &= X + VX \\ bx + ay + Ty &= Y + VY \end{aligned}$$

A matrix      L matrix

|         |          |       |       |             |
|---------|----------|-------|-------|-------------|
| 500.000 | -500.000 | 1.000 | 0.000 | 291684.317  |
| 500.000 | 500.000  | 0.000 | 1.000 | 9105617.981 |
| 500.000 | -521.056 | 1.000 | 0.000 | 291669.629  |
| 521.056 | 500.000  | 0.000 | 1.000 | 9105633.142 |

## Transformed Control Points

| POINT | X           | Y             | VX     | VY     |
|-------|-------------|---------------|--------|--------|
| A     | 291,684.317 | 9,105,617.981 | -0.000 | 0.000  |
| B     | 291,669.629 | 9,105,633.142 | 0.000  | -0.000 |

## Transformation Parameters:

a = 0.72003  
b = 0.69757  
Tx = 291673.085  
Ty = 9104909.181

Rotation = 44°05'31.7"  
Scale = 1.00252

\*\*\*\*\* Unique Solution Obtained !! \*\*\*\*\*

## Transformed Points

| POINT | X           | Y             |
|-------|-------------|---------------|
| 1     | 291,672.341 | 9,105,648.431 |
| 2     | 291,696.386 | 9,105,671.228 |
| 3     | 291,737.831 | 9,105,627.695 |
| 4     | 291,713.770 | 9,105,605.022 |

## INVERSE MATRIX

```

202138.50253091  0.00000000  197.88412153  202.05076959
0.00000000  202138.50253091 -202.05076959  197.88412153
197.88412153 -202.05076959  4.16664806 -0.00000000
202.05076959  197.88412153 -0.00000000  4.16664806

```

COORDS  
 COORDINATE ADJUSTMENT SUMMARY  
 NETWORK = PINA2  
 TIME = Sun Nov 9 21:51:37 2003

\* Datum = WGS-84  
 Coordinate System = Geographic  
 Zone = Global

Network Adjustment Constraints:  
 1 fixed coordinates in y  
 1 fixed coordinates in x  
 1 fixed coordinates in H

| POINT | NAME      | OLD COORDS         | ADJUST     | NEW COORDS         | 1.00σ     |
|-------|-----------|--------------------|------------|--------------------|-----------|
| 1     | PINA N    |                    |            |                    |           |
|       | LAT=      | 8° 05' 13.535758"  | -0.000039" | 8° 05' 13.535797"  | 0.009533m |
|       | LON=      | 34° 53' 27.120420" | +0.000054" | 34° 53' 27.120367" | 0.015491m |
|       | ELL HT=   | -2.9495m           | +0.0162m   | -2.9334m           | 0.035473m |
|       | ORTHO HT= | 0.0000m            | +0.0000m   | 0.0000m            | NOT KNOWN |
| 2     | PINA1     |                    |            |                    |           |
|       | LAT=      | 8° 05' 14.034331"  | +0.000991" | 8° 05' 14.033340"  | 0.009775m |
|       | LON=      | 34° 53' 26.647850" | +0.003661" | 34° 53' 26.644189" | 0.015879m |
|       | ELL HT=   | -2.6468m           | -0.1976m   | -2.8444m           | 0.036307m |
|       | ORTHO HT= | 0.0000m            | +0.0000m   | 0.0000m            | NOT KNOWN |
| 3     | RECF      |                    |            |                    |           |
|       | LAT=      | 8° 03' 03.478680"  | +0.000000" | 8° 03' 03.478680"  | FIXED     |
|       | LON=      | 34° 57' 05.435920" | +0.000000" | 34° 57' 05.435920" | FIXED     |
|       | ELL HT=   | 20.3760m           | +0.0000m   | 20.3760m           | FIXED     |
|       | ORTHO HT= | 0.0000m            | +0.0000m   | 0.0000m            | NOT KNOWN |

